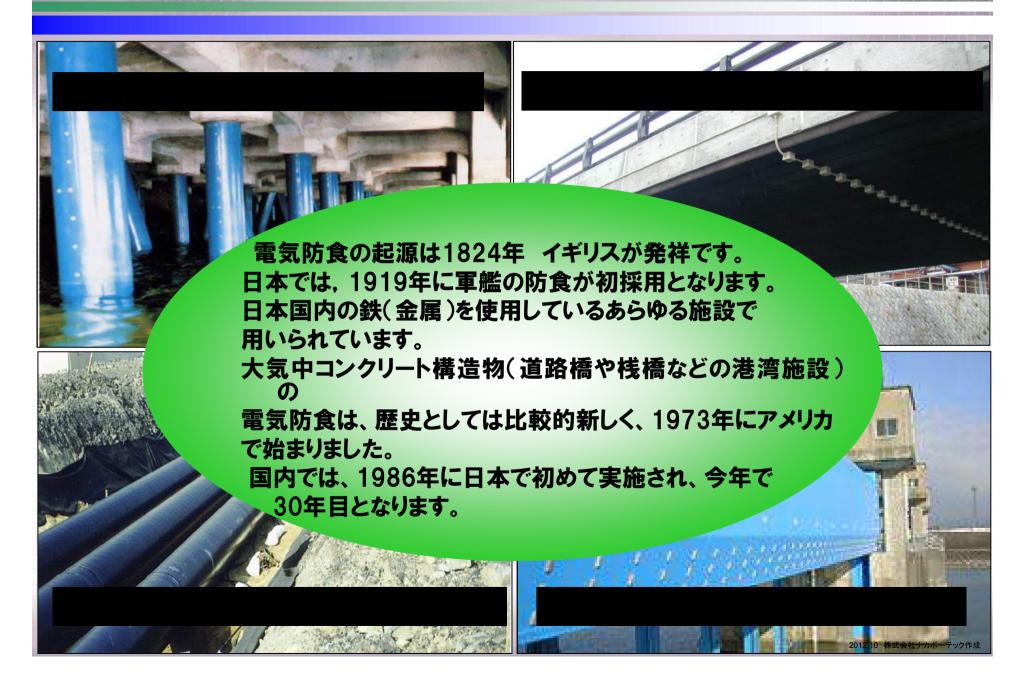
コンクリート構造物の電気防食工法の紹介

平成28年5月13日

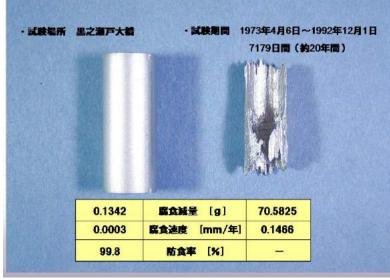
➡電気防食

日本エルガード協会

### 電気防食の歴史について

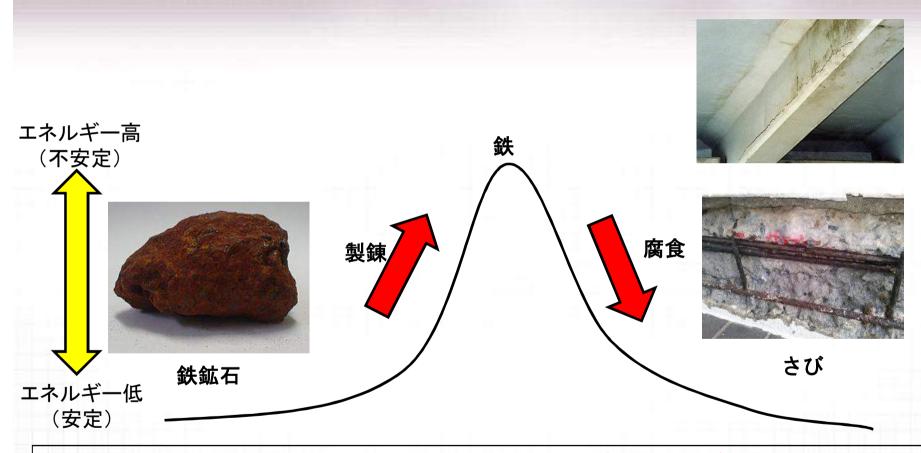






# 国内の主要な港湾施設では、ほぼ全て電気防食を実施! 海外でも多くの施設に適用 防食率は、90%以上

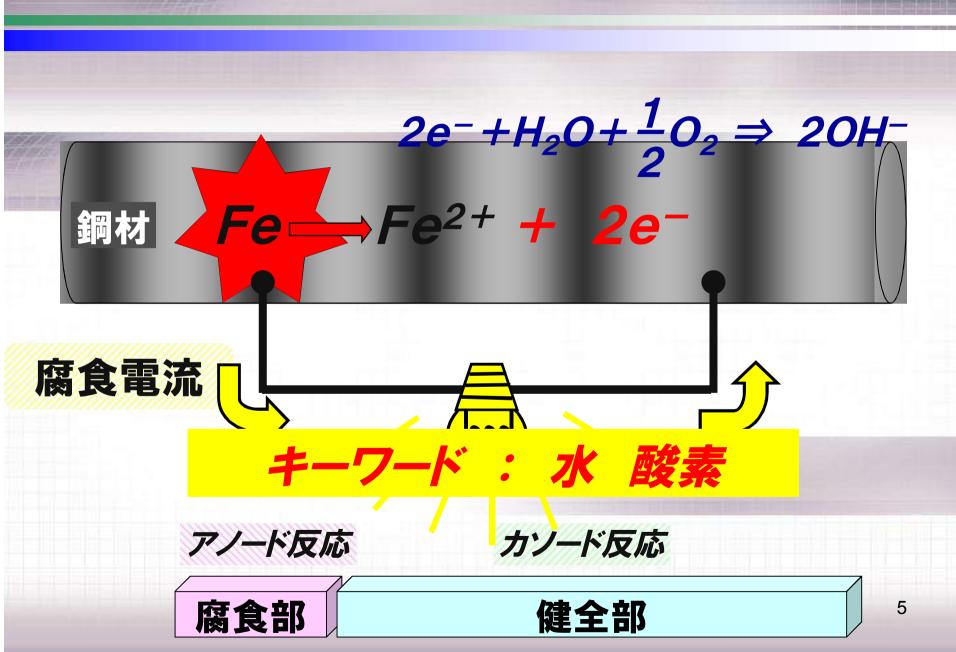
### なぜ錆びる?



- ・鉄は鉄鉱石をコークス、石灰石と共に溶解炉に入れて、1500°C以上の高温でエネルギーを加えられて製造される
- ・製造された鉄は高いエネルギー=不安定
- ・安定=低いエネルギーに戻ろうとして鉄が錆びる

※新日鐵住金HPより引用

### 鋼材腐食のメカニズム(大気中)



### 鋼材の腐食には必ず「酸素」と「水」が必要

深海のタイタニックが現存
→水あるが、深海のため
低酸素濃度





『深海のタイタニック』

『砂漠の戦車』



- ② 砂漠の戦車が現存
  - →酸素あるが、水なし



### 鋼材が錆びるとは?

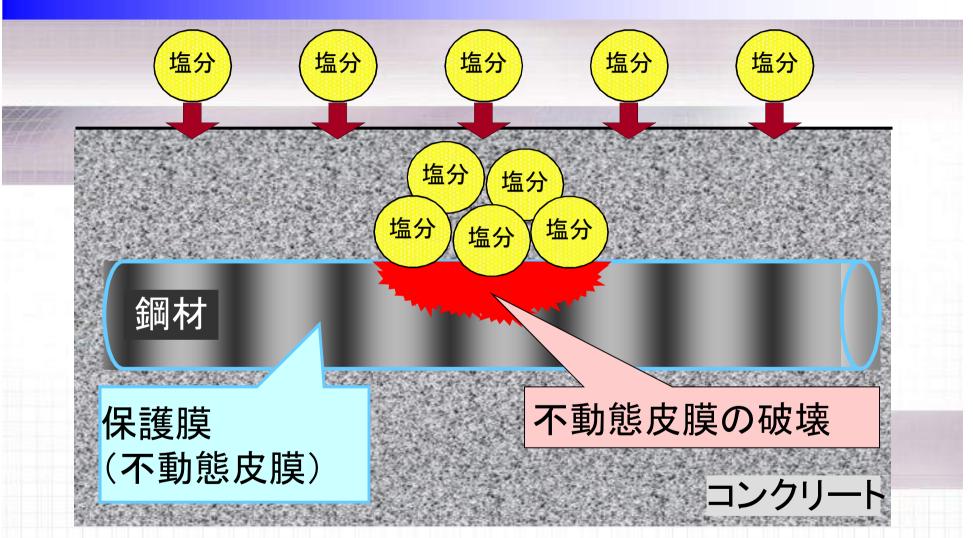
### 健全なコンクリート中の鉄筋は腐食しない!

鋼材

保護膜 (不動態皮膜)

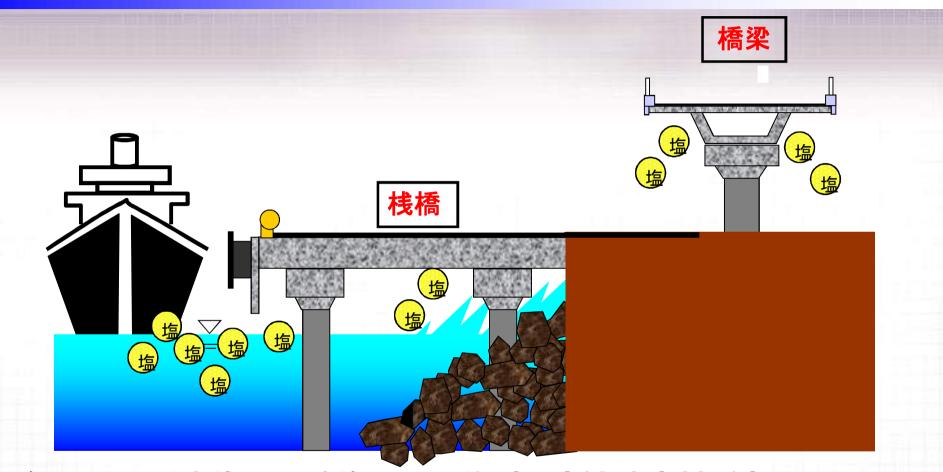
コンクリート

### 鋼材が錆びるとは?



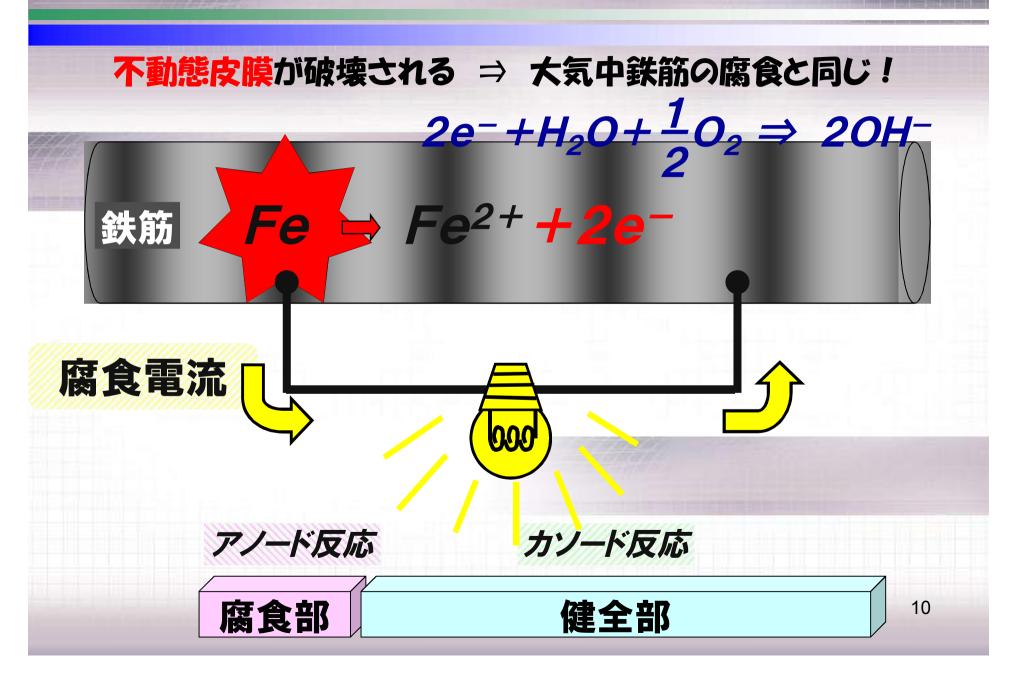
限界値以上の塩化物イオンが鉄筋周辺に到達すると<mark>不動態皮膜</mark>が破壊される! 発錆限界塩化物イオン量 ⇒コンケリート標準仕様書に記載

### どこから塩分が?

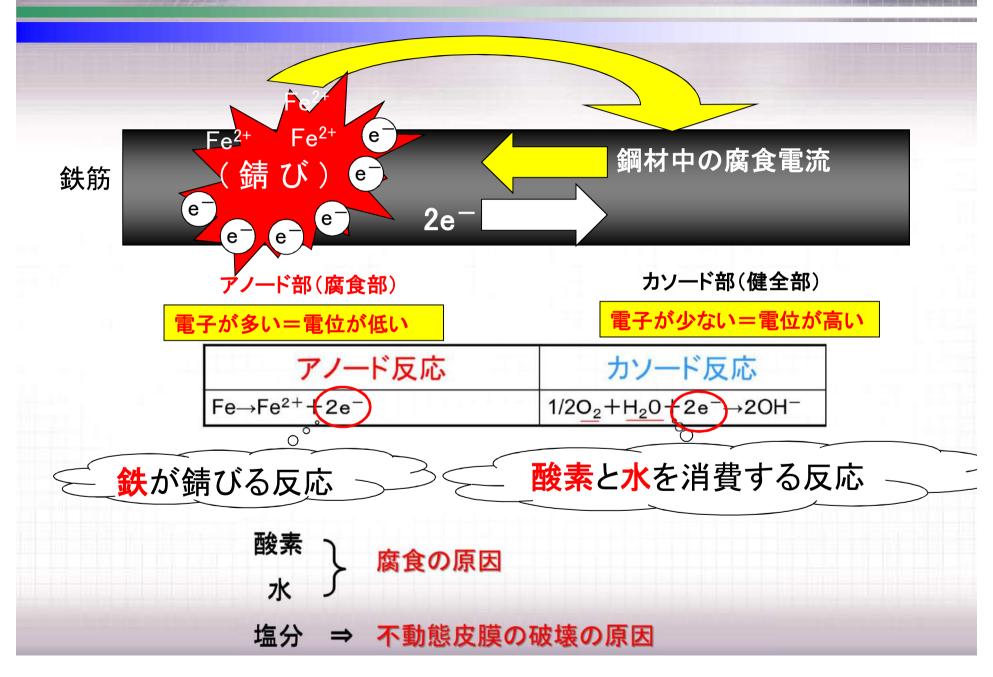


主として、飛来塩分や除塩不足の海砂、凍結防止材が考えられます。海に囲まれた日本にとって、沿岸地域の塩害の影響は、避けられない状態にあります。

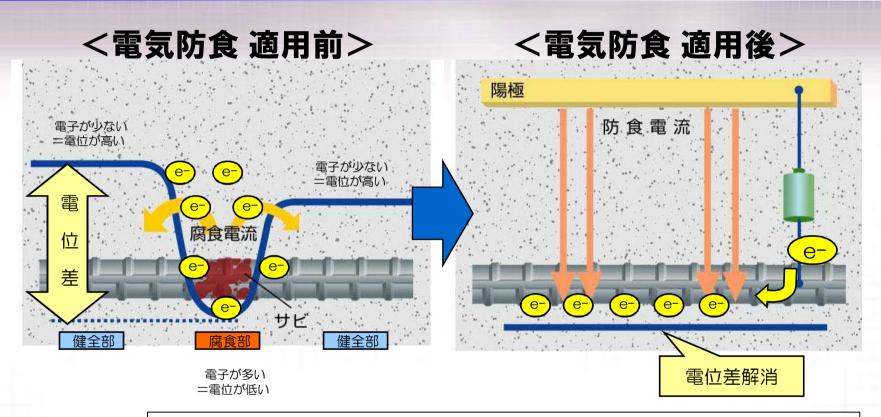
### コンクリート中の鋼材が錆びるとは?

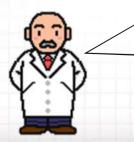


### 鋼材腐食因子は?



### 電気防食工法の仕組み





コンクリート構造物の表面に陽極を設置し、鉄筋やPC鋼材を 陰極にして防食電流を供給します。

防食電流を流すことで健全部と腐食部の電位差はなくなり、腐食電流は消滅します。

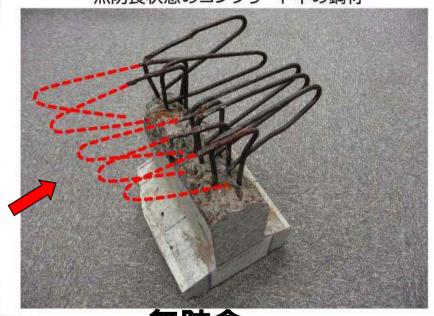
### 電気防食の実験



### 電気防食工法の効果

#### 予め塩分を含有した供試体の10年間の試験結果

無防食状態のコンクリート中の鋼材



無防食

防食状態によるコンクリート中の鋼材



電気防食

- ・ 腐食の程度が非常に軽微であり、電気防食による防食効果を確認した。
- 電気防食による防食効果によりPC鋼材の機械的性質も規格以上を満足していた。

海洋環境下にあるプレテンション方式PC構造物への電気防食の適用に関する研究-暴露10年結果報告,港湾空港技術研究所,2001.09

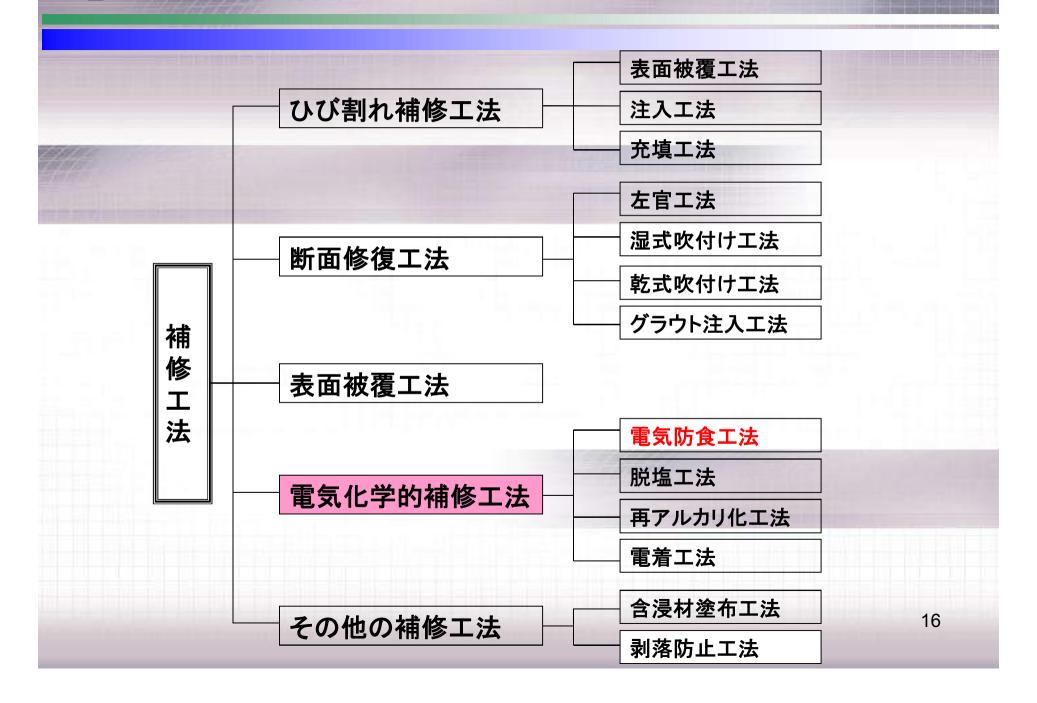
### 部分断面修復+表面被覆の再劣化の実例

塩分を含んだコンクリートの除去、鉄筋の防錆処理が不十分だと再劣化



昔のコンクリート標準示方書には電気防食工法の記載はなく、断面修復+表面被覆が一般的に行われていた。 再劣化の事例が表面化した後、制定された2001年制定コンクリート標準示方書「維持管理編」から電気防食 の記述がされるようになった。

### 電気化学的補修工法



### 電気化学的補修工法

コンクリートを介して<u>コンクリート内部の鉄筋に直流電流を供給</u>することを基本とするコンクリート構造物の劣化補修工法



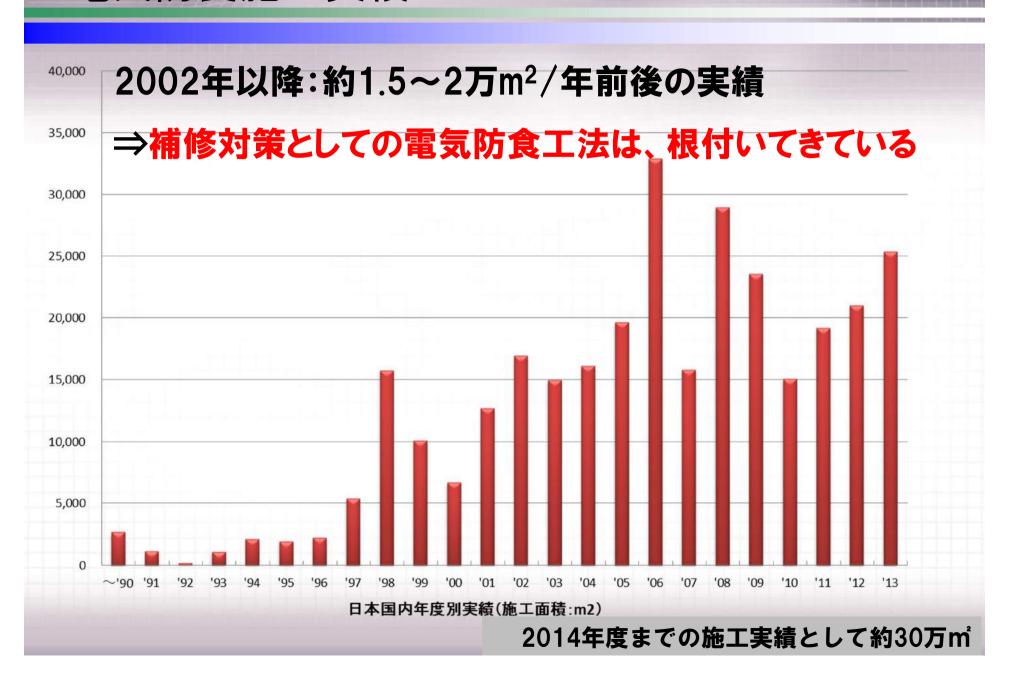
各工法で目的が異なる。

- ✓ 鉄筋の腐食反応の停止
- ✓ コンクリート内部塩分の除去
- ✓ コンクリートのアルカリの回復
- ✓ コンクリートの欠陥部閉塞など

- ⇒ 電気防食工法
- ⇒ 脱塩工法
- ⇒ 再アルカリ化工法
- ⇒ 電着工法



### 電気防食施工実績



### 電気防食の特徴

- 1) 再劣化しない
- 2) 多量の塩分が存在する環境でも防食可能
- 3) 塩分を含有するコンクリートの除去が不要
- 4) 鉄筋の防錆処理が不要
- 5) 防食効果の確認が容易

防食は、腐食 電気反応を直接的に抑制

### 電気防食の種類

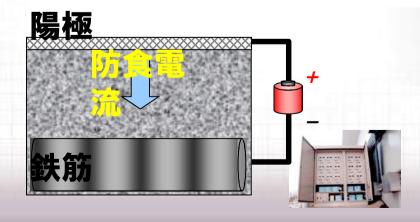
### 防食電流の供給方法により2種類 電気防食工法

防食電流の供給方法の違い

主流

### 外部電源方式

直流電源装置を用いる 防食電流の調節可能



### 流電(犠牲)陽極方式

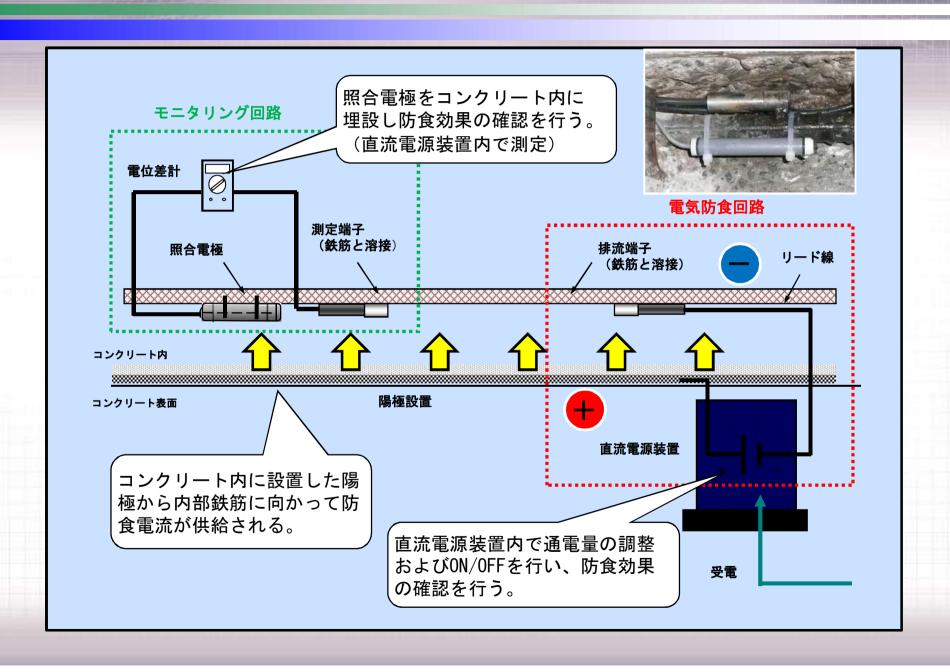
鉄筋と金属のイオン化傾向を利用する(直流電源不要)

防食電流の調節不可能

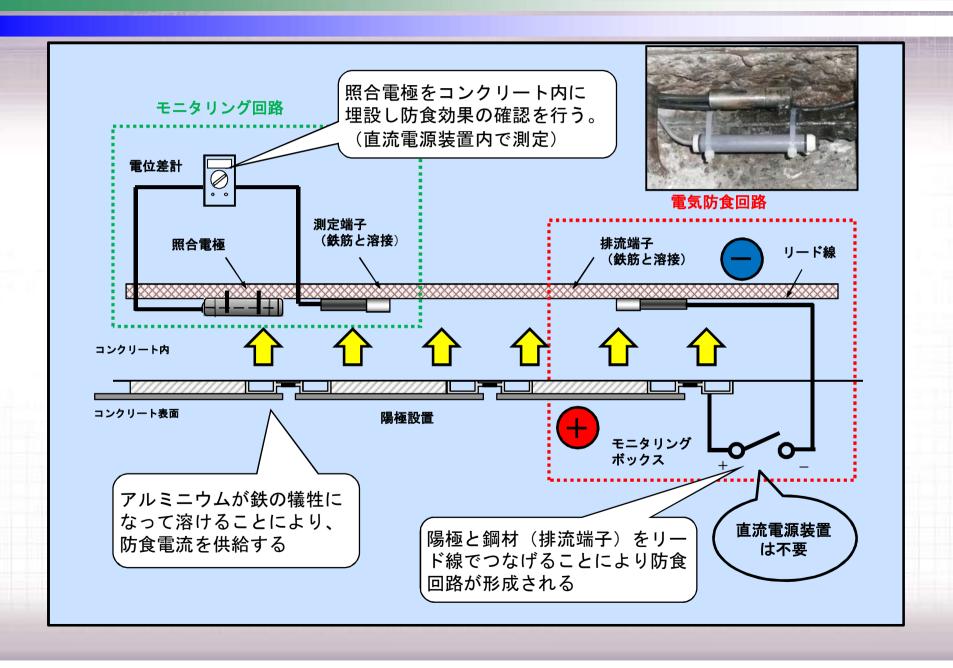
犠牲陽極(例Zn⇒Zn²+



### 外部電源方式のシステム

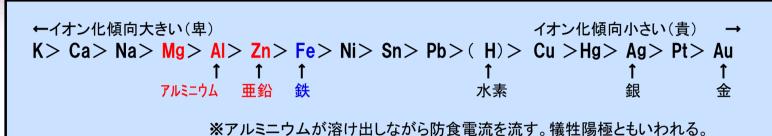


### 流電陽極方式のシステム



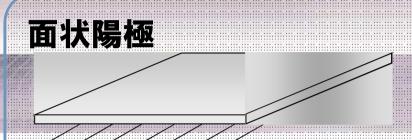
### 流電陽極方式のイメージ

#### ◆金属のイオン化傾向(固有電位差)



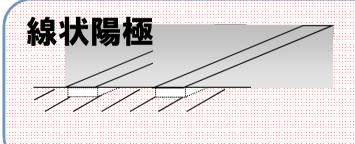
雷位 (mv) 例) -1050mV (-)例) -400mV 鉄筋電位が マイナス方向 に変化する (+)アルミニウム 鉄(Fe)の 鉄(Fe)と (AI ) 固有電位 の固有電位 アルミニウム(AI) の合成電位

### 電気防食形状による種類



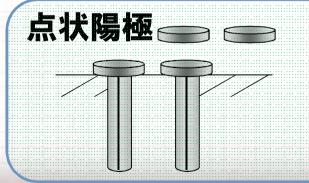
防食対象に対して、陽極材を面状に設置

防食電流の均一性に優れる



所定の設置間隔(300mm以下)をあけて設置 設置間隔の検証必要

補修構造物表面に塗装がある場合など有効 ⇒塗装を全面除去する必要なし



コンクリート表面からドリル削孔して設置所定の設置間隔をあけて設置

局所的な防食に有効

### 電気防食形状による種類

### 各電気防食メーカーで多数

#### 外部電源

#### 流電陽極

面状陽極: チタ

チタンメッシュ陽極方式

パネル陽極方式

導電性塗料方式

チタン溶射方式

導電性モルタル方式

亜鉛シート方式

亜鉛・アルミ擬合金溶射方式

ALAPANEL方式

線状陽極:

チタンリボンメッシュ陽極方式

チタングリッド陽極方式

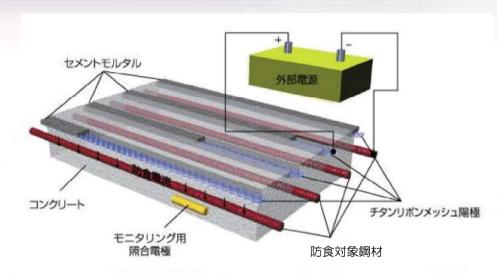
PI-Slit方式

チタントレイ方式

ニッケル被覆炭素繊維方式

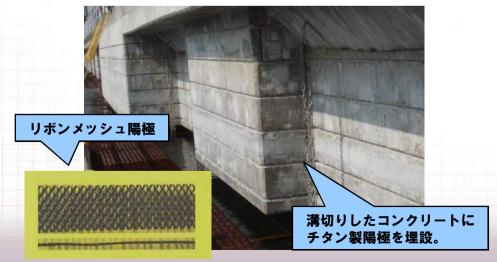
### リボンメッシュ方式(外電/線状陽極)

●貴金属酸化物をコーティングしたリボン状のチタン電極を溝切りしたコンクリート中に設置し、直流電源装置を用いて電極から鉄筋に対し防食電流を供給する方式。



#### <特徴>

- ・直流電源装置が必要
- ・維持管理に調整を要する
- ・コンクリートに溝を形成する
- ・躯体の状態が目視できる
- ・既設塗膜の撤去が不要





# リボンメッシュ方式



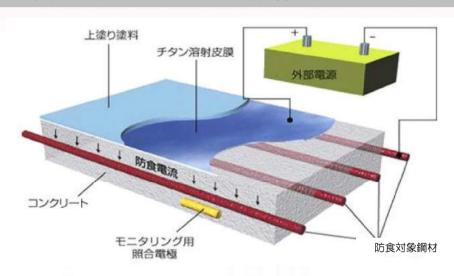






### チタン溶射方式 (外電/面状陽極)

●チタン線材を専用のアーク溶射機を用いてコンクリート表面に付着させ、直流電源装置を用いて電極から鉄筋に対し防食電流を供給する方式。膜厚は0.1mm程度なので構造物の負担が少なく、上塗り保護塗装によるカラーリングも可能。



#### <特徴>

- ・直流電源装置が必要
- ・維持管理に調整を要する
- ・溝切削等の作業がない
- ・鉄筋かぶりが小さくても可能
- ・躯体の状態が目視できる





# チタン溶射方式



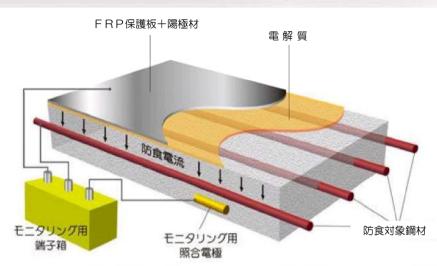


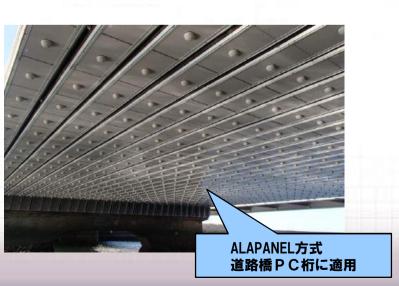




### ALAPANEL方式·亜鉛シート方式(流電/面状陽極)

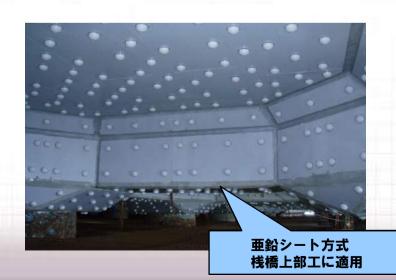
陽極材と防食対象鋼材(鉄筋)の金属固有の電位差によって、防食電流を供給する 方式。直流電源装置を必要としない。(NETIS: KT-070083-V)





#### <特徴>

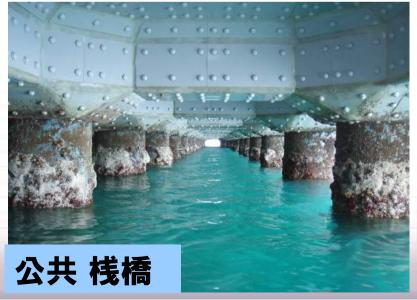
- ・金属固有の電位差で電流を流すため 直流電源装置が不要
- ・通電量の調整等が不要であるため維持管理がミニマムメンテナンス
- ・既設塗膜の撤去が必要
- ・躯体の状態が目視できない
- ・死荷重の増加がある



# 流電陽極方式事例





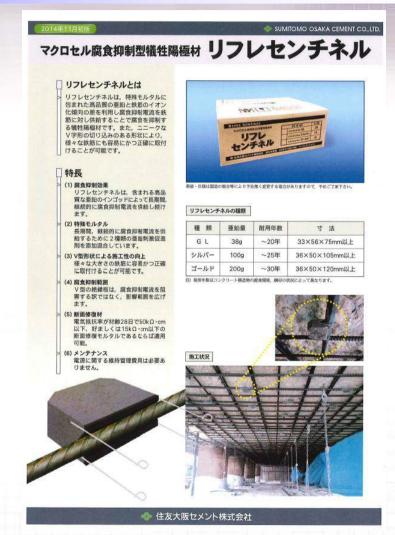




### 電気防食工法の類似工法の紹介



出典:電気化学工業株式会社HPより



出典:住友大阪セメント株式会社HPより

・再劣化防止・マクロセル腐食抑制として販売されている。

### 電気防食のニーズ(橋梁・道路構造物等)







- 一般的な鉄筋コンクリート構造物 であれば、ほとんど適用可能
- ・供用しながらの補修が可能
- ・他の補修工法との併用可能
- ・部材単位での適用可能

### 電気防食のニーズ(桟橋上部エ・ドルフィン等)







大気中、飛沫帯、干満帯等の環境に 応じて防食方式を選定

- ・供用しながらの補修が可能
- ・電源供給が厳しい場合は流電陽極 方式による防食可能

### 電気防食工法の選定の例

#### 電気防食方式の選定は、各種条件から最適方式を選定する。

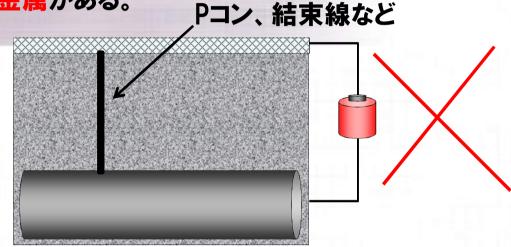
項目		リボンメッ シュ方式	チタン溶射 方式	ALAPANEL方 式	亜鉛シート 方式
環境性	大気中部	0	0	0	0
	飛沫帯	0	×	Δ	Δ
構造物	構造形状が 複雑	0	0	Δ	Δ
	適用後も 目視したい		0	×	×
	施工時の 環境性	× (粉塵)	× (粉塵)	0	0
	電源が無い	×	×	0	0
	通電調整	外部電源の	ため要調整	調整	不要

### 施工時の留意点

#### 陽極材と内部鉄筋が短絡してはならない!



コンクリート表面には、内部鉄筋と電気的導通した 金属がある。 Dank to the state of the



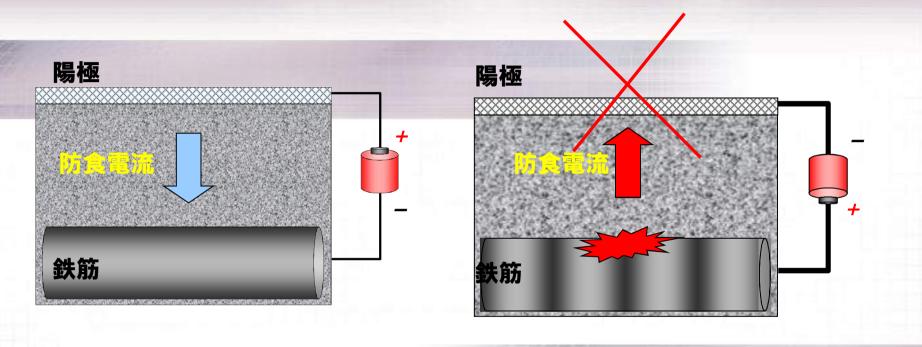
絶対に許してはならない。

内部鉄筋と繋がると ⇒ 単なる電線となる。

処理方法:除去、エポキシなどで被覆

## 施工時の留意点

### 逆結線をしてはならない!



逆結線で繋げると ⇒ 鉄筋を錆びさせて(溶かして)、陽極を防食している。

処理方法:ケーブルの端末に行先表示をする。

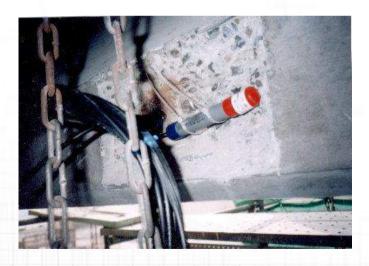
直流電圧計にて、鉄筋の電位を確認 陽極の電位は、通常の鉄筋電位より+側

### 電気防食施工後の確認

コンクリート中の鋼材の腐食状況を確認する方法は?



### 鋼材の電位を測定して判断する

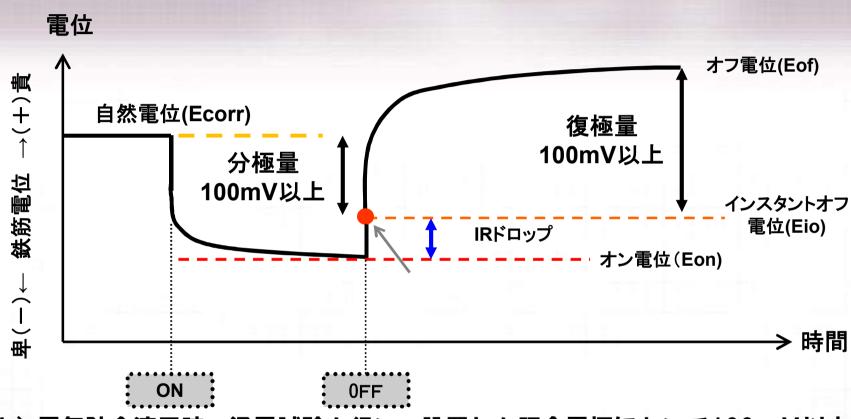


埋設型照合電極を使用

- 二酸化マンガン照合電極
- •鉛照合電極

防食効果の確認を行う!!

### 防食効果の確認



- 1)電気防食適用時:通電試験を行い、設置した照合電極において100mV以上 の分極量が得られる通電量により、運用を開始する。(分極量試験)
- 2) 運用後の定期点検:一定期間電源を遮断し、所定の電位変化量が得られていることを確認する。(復極量試験)

### 電気防食工法装置の維持管理

—————— 点検	点検概要	点検方法	点検頻度 の目安
日常点検	維持管理者が日常的に巡回し、防食 計常点検 装置の稼動状態や外観変状の確認を 行う。		日常巡回時
定期点検	維持管理計画に基づき定期的に、防 食効果の確認および防食装置の通電 状態と外観変状の確認を行う。	目視/計測	・初年度2~4回/年 ・2年以降は年1回、 または少なくとも 5年に1回
詳細点検	日常点検、定期点検および臨時点検 の結果、異常が発見された場合に電 気防食に専門知識を有する技術者に よって行い原因を特定して対策を講 る。	目視/計測	
臨時点検	地震、台風、落雷等の自然災害、あるいは火災や車両衝突等の人的災害が発生した直後に、防食装置の稼動状態や外観変状を確認する。	目視	災害、事故 発生直後1回

※ 定期点検の頻度を初年度は年2回、以後、初年度の点検結果に基づき1~5年度に1回程度を目安に決定することが望ましい:電気化学的防食工法 設計施工指針(案)(土木学会)

### 電気防食の維持管理(外部電源方式)

<b>壮罡</b>	項目	内容	点検の種類			<b>机帐井</b> 涞	
衣垣	. 児日	內谷	日常	定期	詳細	判断基準	
		塗装、損傷、発錆の有無を 確認する	0	0	0	塗装のはがれがなく、損傷、腐 食が進行していないこと	
	外観	扉の開閉、施錠を確認する		0	0	スムーズな開閉が行え、施鍵されていること	
		端子の損傷、腐食を調べる			0	損傷、腐食が進行していないこと	
直流		電流計、電圧計を確認する		0	0	電流計、電圧計が作動していること	
直流電源装置		表示灯の点灯を確認する	0	0	0	表示灯が点灯し稼動していること	
装置	計測	通電電流量を確認する		0	0	安定していること 異常値を示していないこと	
		通電電圧を確認する		0	0	安定していること 異常値を示していないこと	
	ング装置	電位値を確認する		0	0	安定していること、かつ水素発 生電位 (-1000mV vs CSE) より 貴であること	
		電位変化量を確認する		0	0	所定の電位変化量(100mV以 上)が得られること	
陽極	外観	コンクリートのひび割れ、 錆汁の有無を確認する		0	0	腐食を伴うひび割れ、錆汁がないこと	
陽極システ		陽極システムの変状の有無 を確認する			0	陽極材、被覆材に大きなひび割 れ等の変状がないこと	
کہ	計	陽極と鉄筋間の短絡を調べる			0	短絡していないこと	
	測	陽極電位を調べる			0	安定していること	
而コ	外	配管の損傷の有無を調べる	0	0	0	損傷や劣化がないこと	
管	観	プルボックスの損傷の有無 を調べる	0	0	0	損傷や劣化がないこと	

#### <直流電源装置>

受電ランプ 運転ランプ





自立(じりつ)型

# 電気防食の維持管理(流電陽極方式)

装置	項目	内容	点検の種類			判断基準
名			日常	定期	詳細	刊即坐午
	外観	ボックスの損傷、腐食を調べ る	0	0	0	損傷、腐食が進行していないこと
   €		端子の損傷、腐食を調べる		0	0	損傷、腐食が進行していないこと
モニタリング装置	計測	電位変化量を確認する <sup>※</sup>		0	0	所定の電位変化量 (100mV) が得られること
		電位値を確認する※		0	0	安定していること、かつ水素発生電 位 (-1000mV vs CSE) より貴であるこ と
		通電電流量を確認する※		0	0	安定していること 異常値を示していないこと
	外観	陽極システムの変状有無を確 認する	0	0	0	パネル、固定金具等の脱落、劣化等 がないこと
陽極システム		電気防食対象部のコンクリー ト表面のひび割れ、錆汁の有 無を確認する		0	0	腐食を伴うひび割れ、錆汁がないこ と
7	計測	陽極と鉄筋間の短絡有無を調 べる <sup>※</sup>			0	短絡していないこと
		陽極電位を調べる			0	安定していること
配管	外   観	配管の損傷の有無を調べる	0	0	0	損傷や劣化がないこと
		プルボックスの損傷の有無を 調べる	0	0	0	損傷や劣化がないこと

#### <モニタリングボックス> 柱上(ちゅうじょう)型



測定状況





日本エルガード協会