



電気化学的補修工法

チタンロッド内部挿入陽極工法

コンクリート構造物の
塩害・長寿命化対策



Company Profile

会社概要

商号	東興ジオテック株式会社
本社所在地	東京都中央区銀座7-12-7
拠点	東北、東京、中部、北陸、大阪、中国、九州、広島工場
資本金	8,000万円
売上高	219億円（2023年3月末）
社員数	433名（2023年4月）

高松コンストラクション
グループ

高松建設

青木あすなろ建設

みらい建設工業

東興ジオテック

タカマツハウス

その他

アジェンダ

1. 劣化因子と腐食
2. コンクリート構造物の補修工法
3. チタンロッド内部挿入陽極工法 他
4. 施工事例

1. 劣化因子と腐食

コンクリート構造物の劣化因子



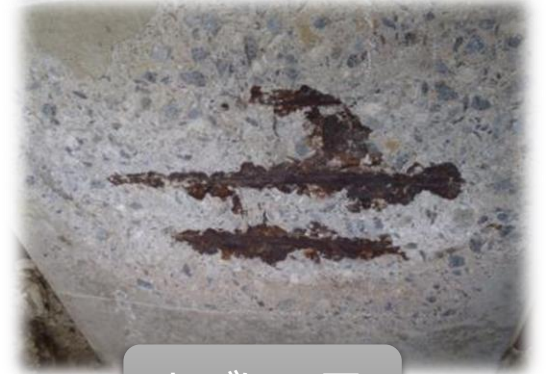
飛来塩分



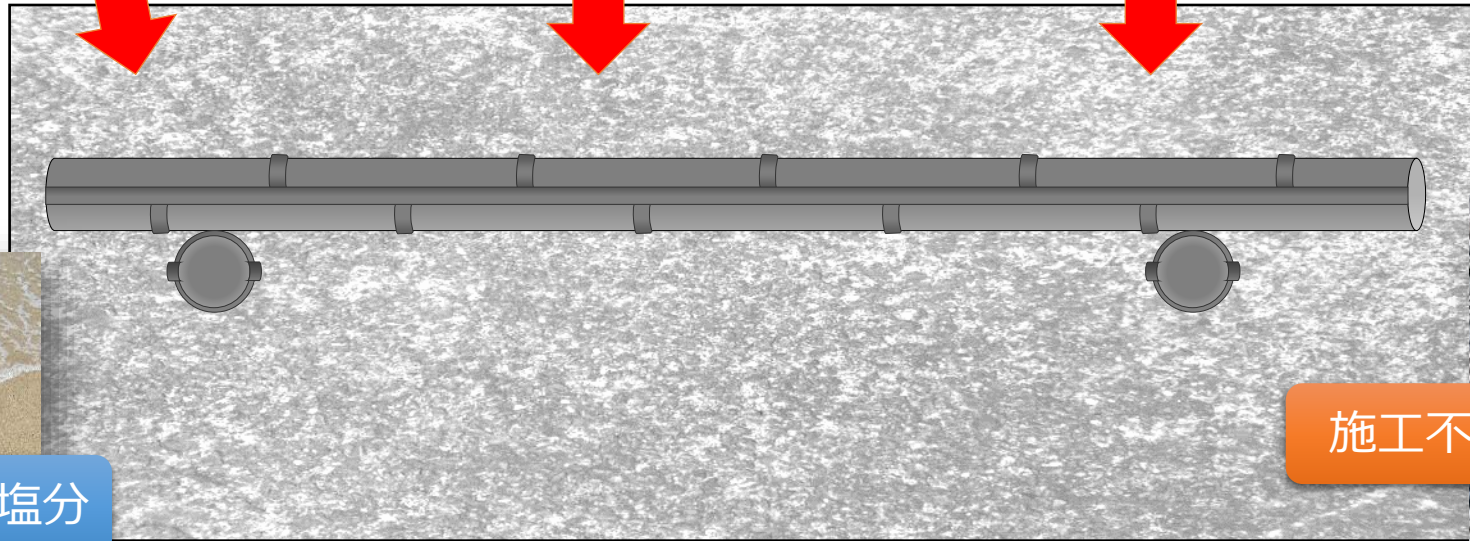
凍結防止剤・融雪剤



炭酸ガス（中性化）



かぶり不足



内在塩分

施工不良

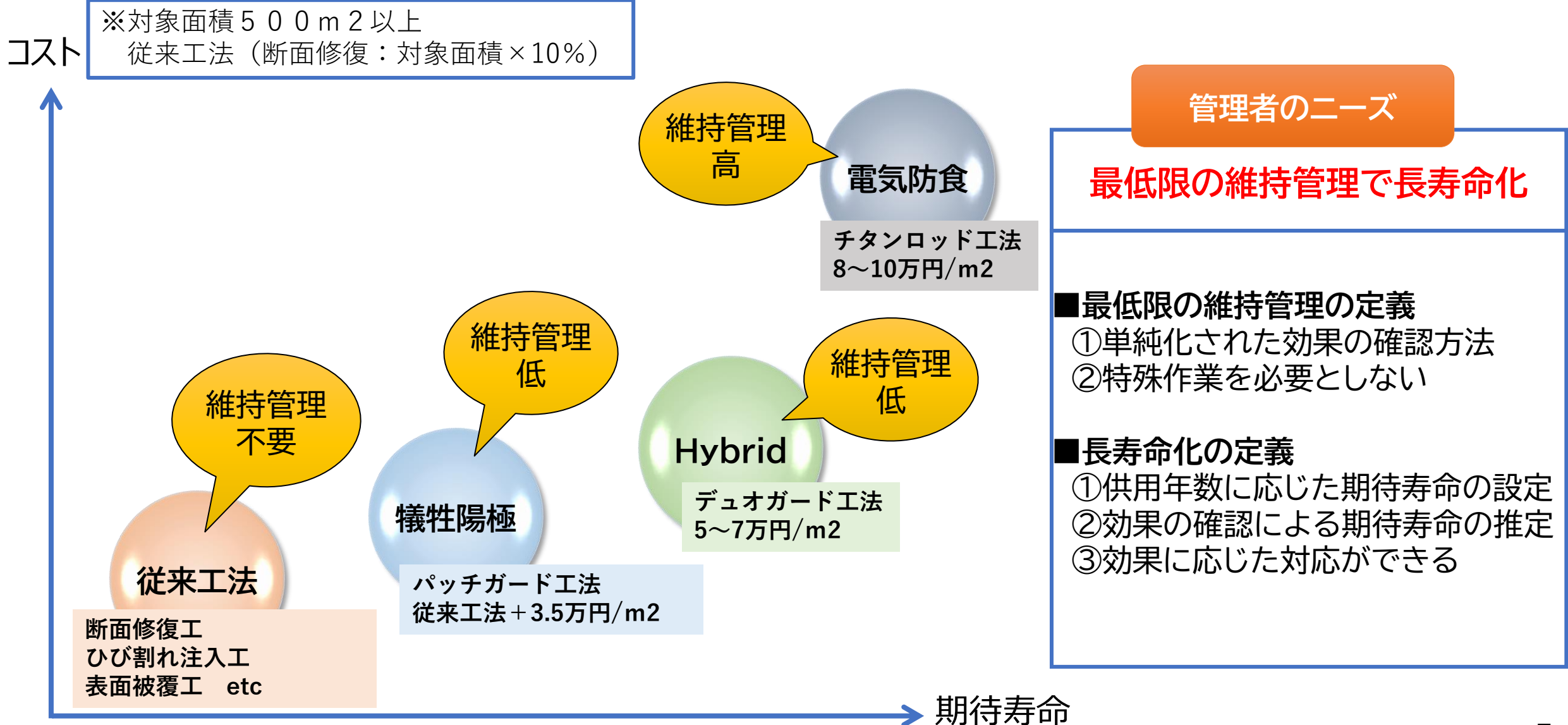


コンクリート構造物の劣化進行過程(塩害による)

表2-1 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

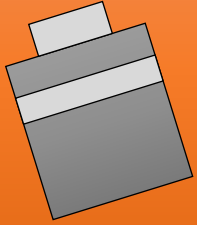
構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以下.
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない, 腐食発生限界塩化物イオン濃度以上, 腐食が開始.
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生, 錆汁が見られる.
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生, 腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的なはく離・はく落が見られる, 鋼材の著しい断面減少は見られない.
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模なはく離・はく落が見られる, 鋼材の著しい断面減少が見られる, 変位・たわみが大きい.

ライフサイクルコスト①



鉄の腐食とは..

乾電池をイメージ！



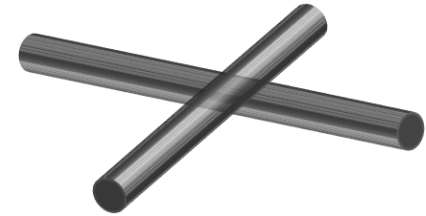
エネルギー高い(貴)
還元(物質的に不安定)

精錬



酸化鉄(≒鉄鉱石)

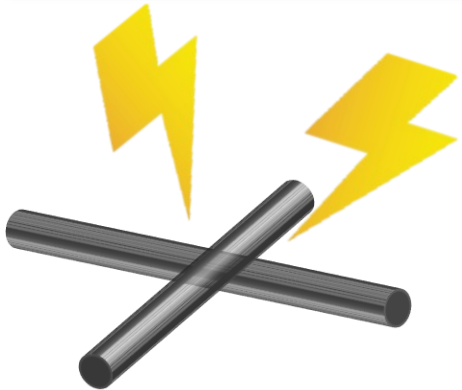
鉄筋(鉄)



エネルギー放出

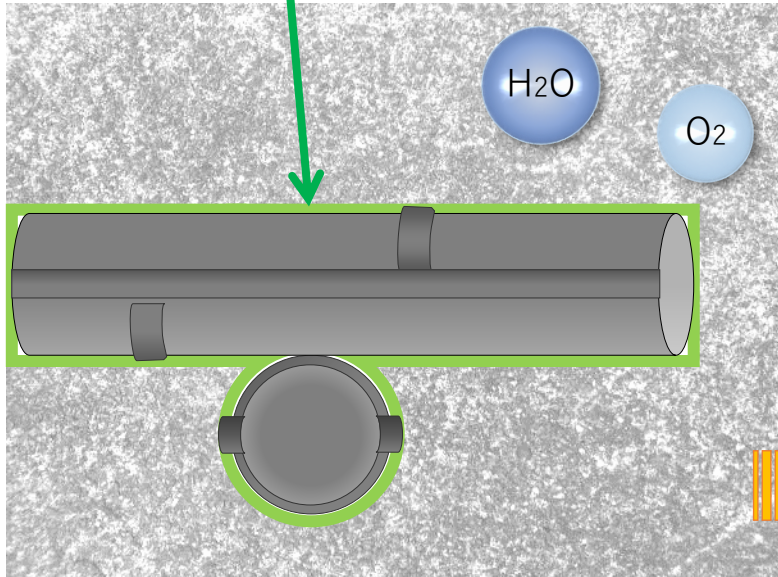
エネルギー低い(卑)
酸化(物質的に安定)

腐食とは安定した
状態に戻ろうとする
自然現象

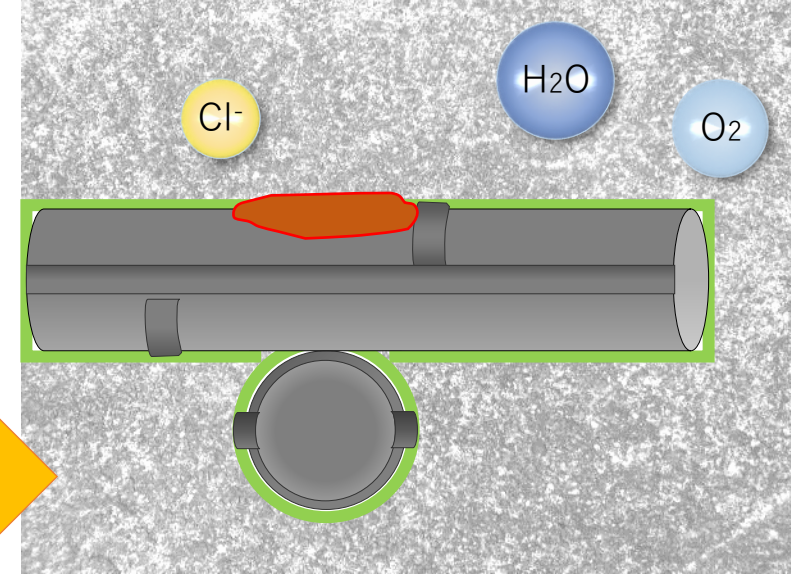
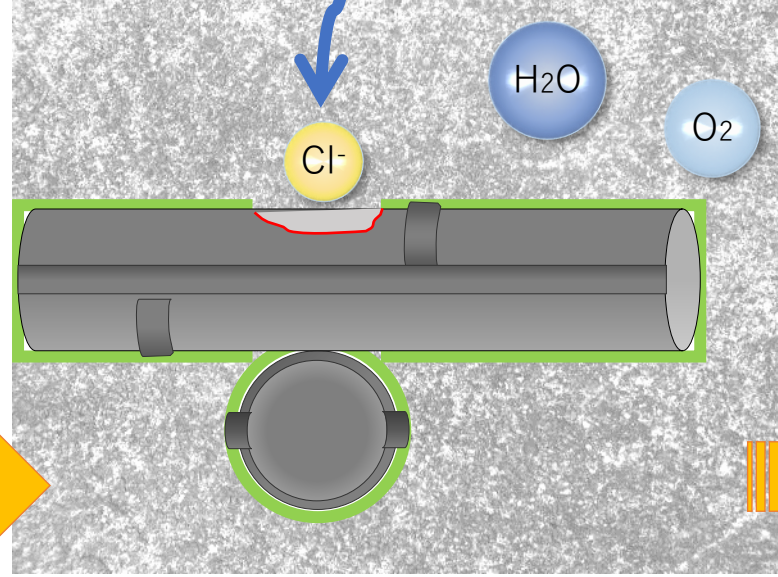


不働態被膜

不働態被膜(酸化被膜):不溶性



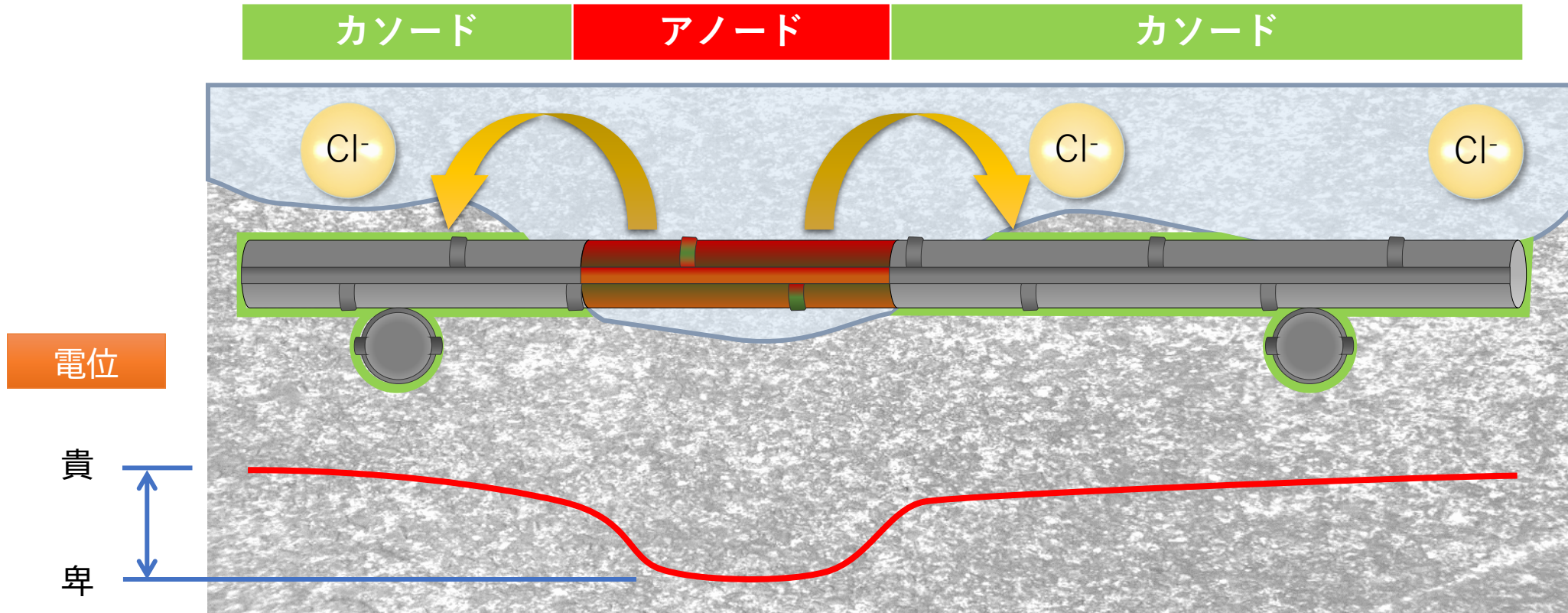
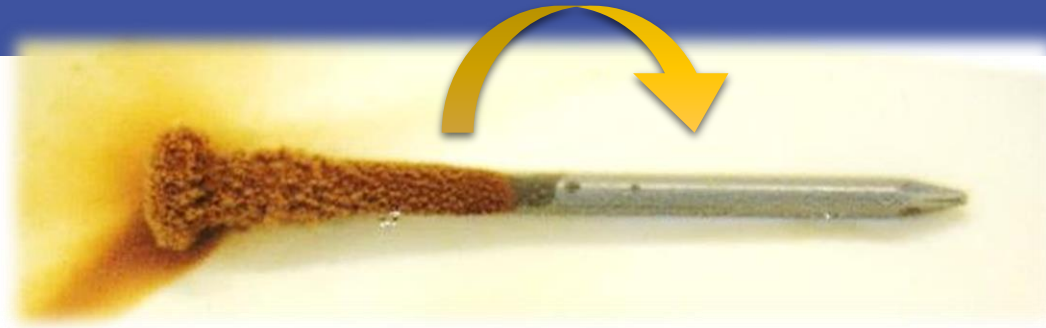
塩化物イオンの潮解性により酸化被膜が溶解する



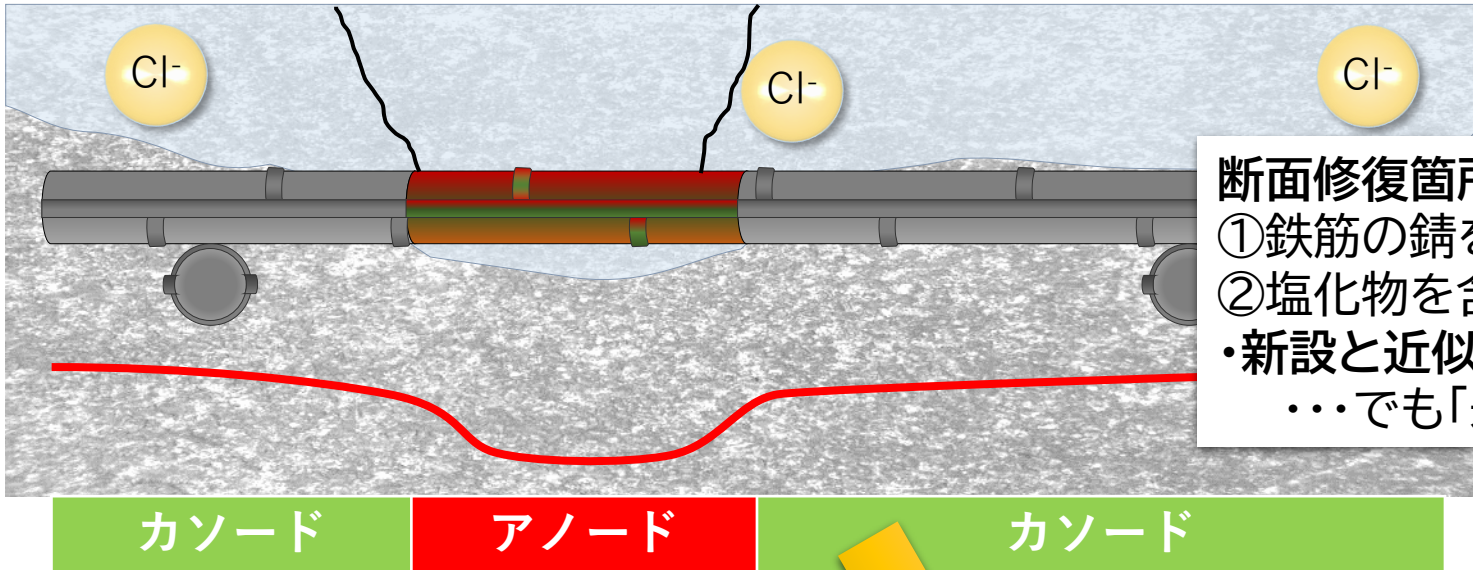
- 1) コンクリートの高いpH(10.5以上)および酸素・水の作用により鋼材の表面に緻密な酸化被膜が形成される
- 2) 塩化物イオンの潮解性により酸化被膜が溶解し易くなる(孔食の発生)
- 3) 酸化被膜が溶解すると、被腐食表面積が増加すると共に酸化被膜の形成・溶解が繰り返され、腐食は加速度的に進行する

不働態被膜は鋼材の表面が腐食した「錆」

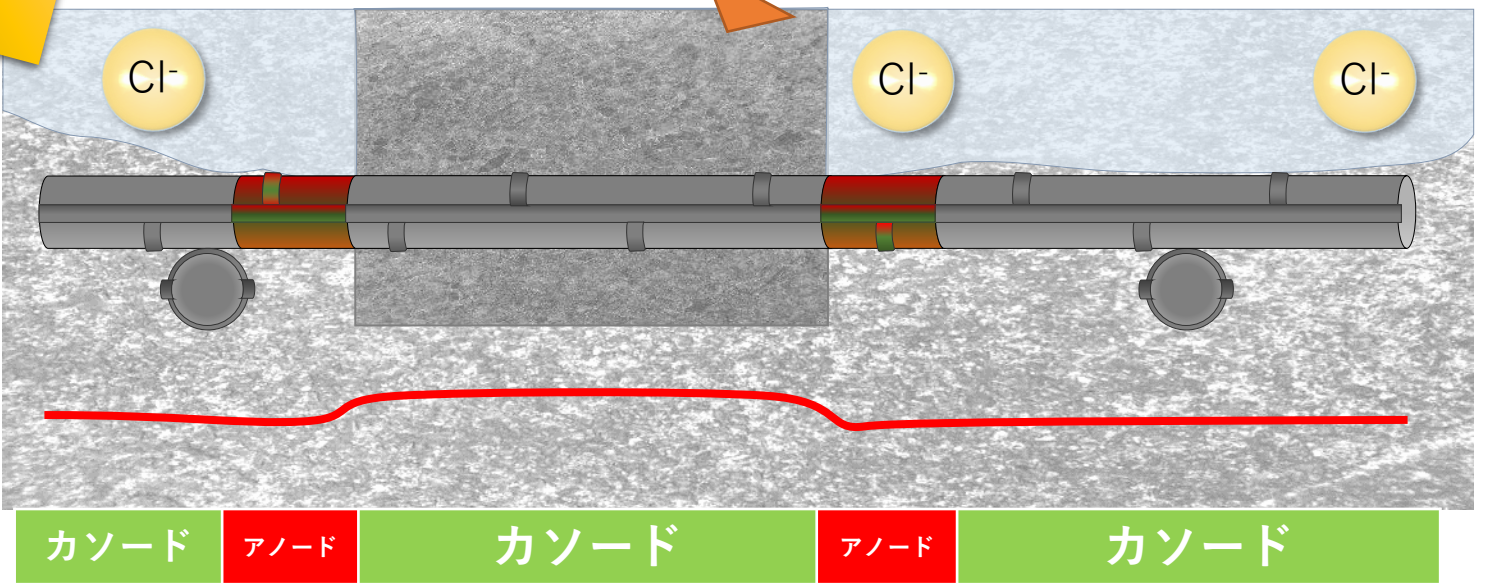
腐食のメカニズム



マクロセル腐食(再劣化)

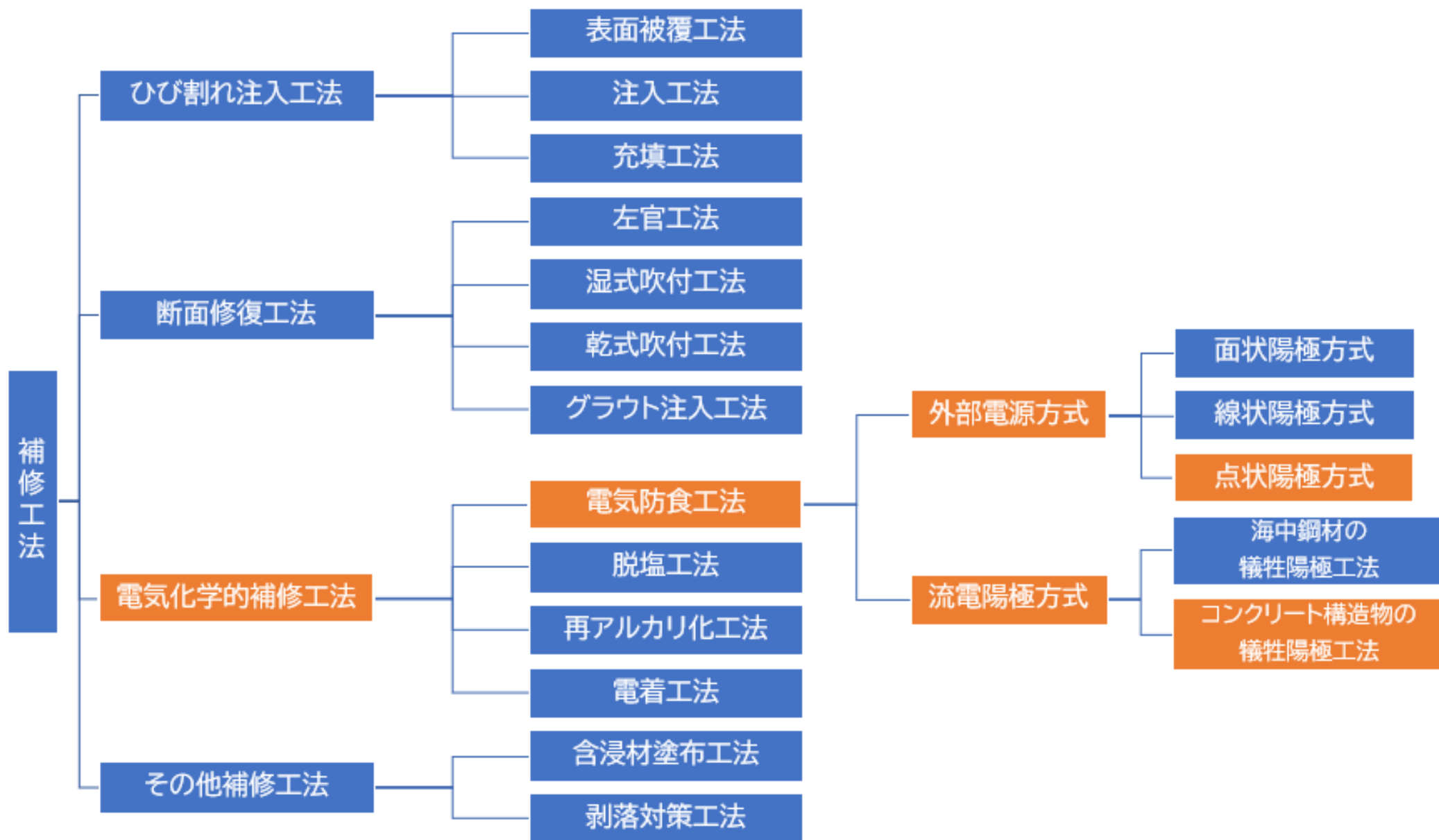


断面修復箇所は・・・
①鉄筋の錆を除去する
②塩化物を含まない高pHの材料で埋め戻す(鉄筋不働態化)
・新設と近似した状態となる → **保護する必要がない**
・・・でも「未補修部分に**塩化物イオン**が残存している」



2. コンクリート構造物の補修工法

コンクリート構造物の補修工法(当社で扱う電気防食工法の範囲)



ポイント

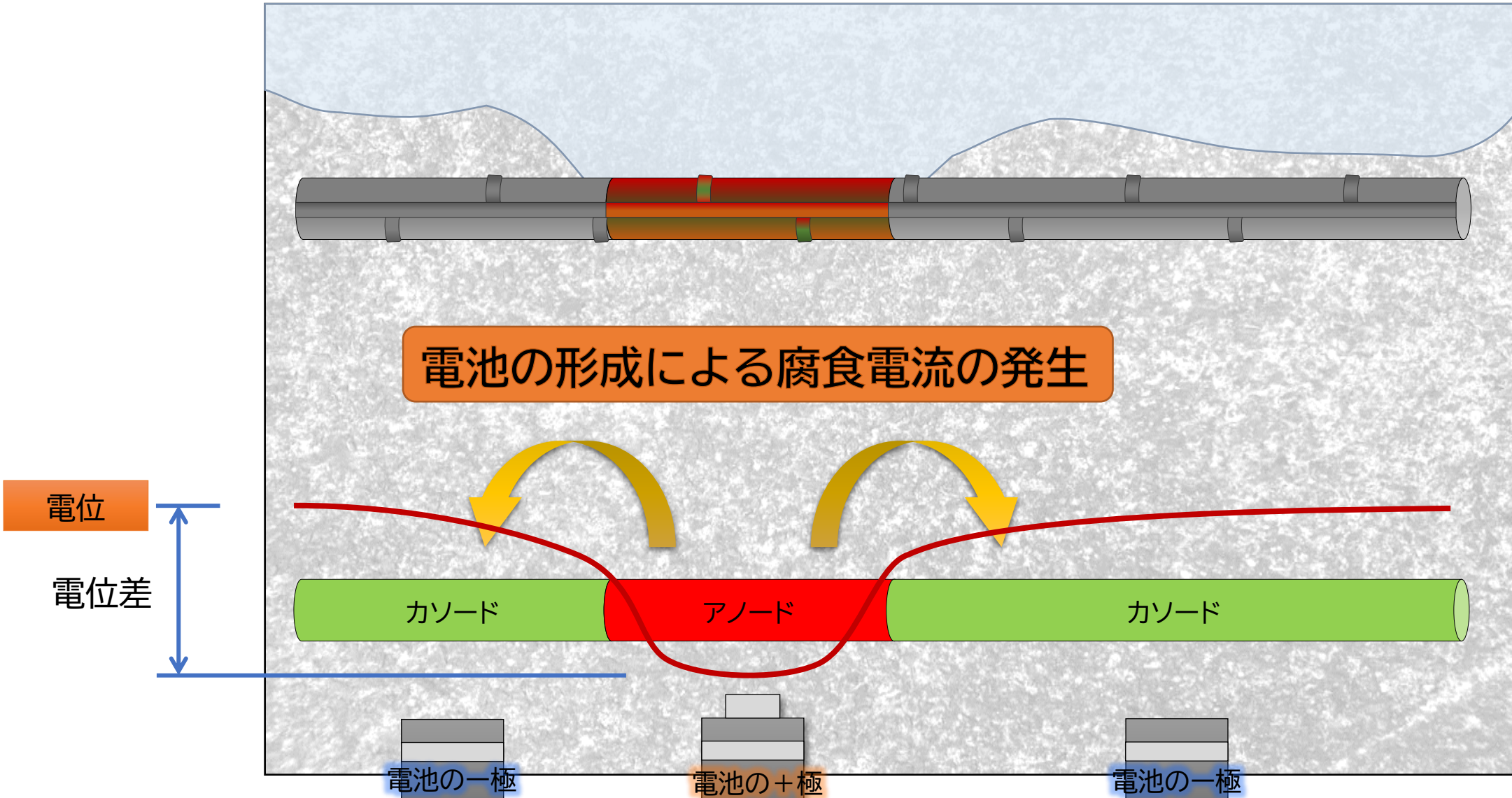
鋼材の腐食は電気化学的作用によるもの

よって

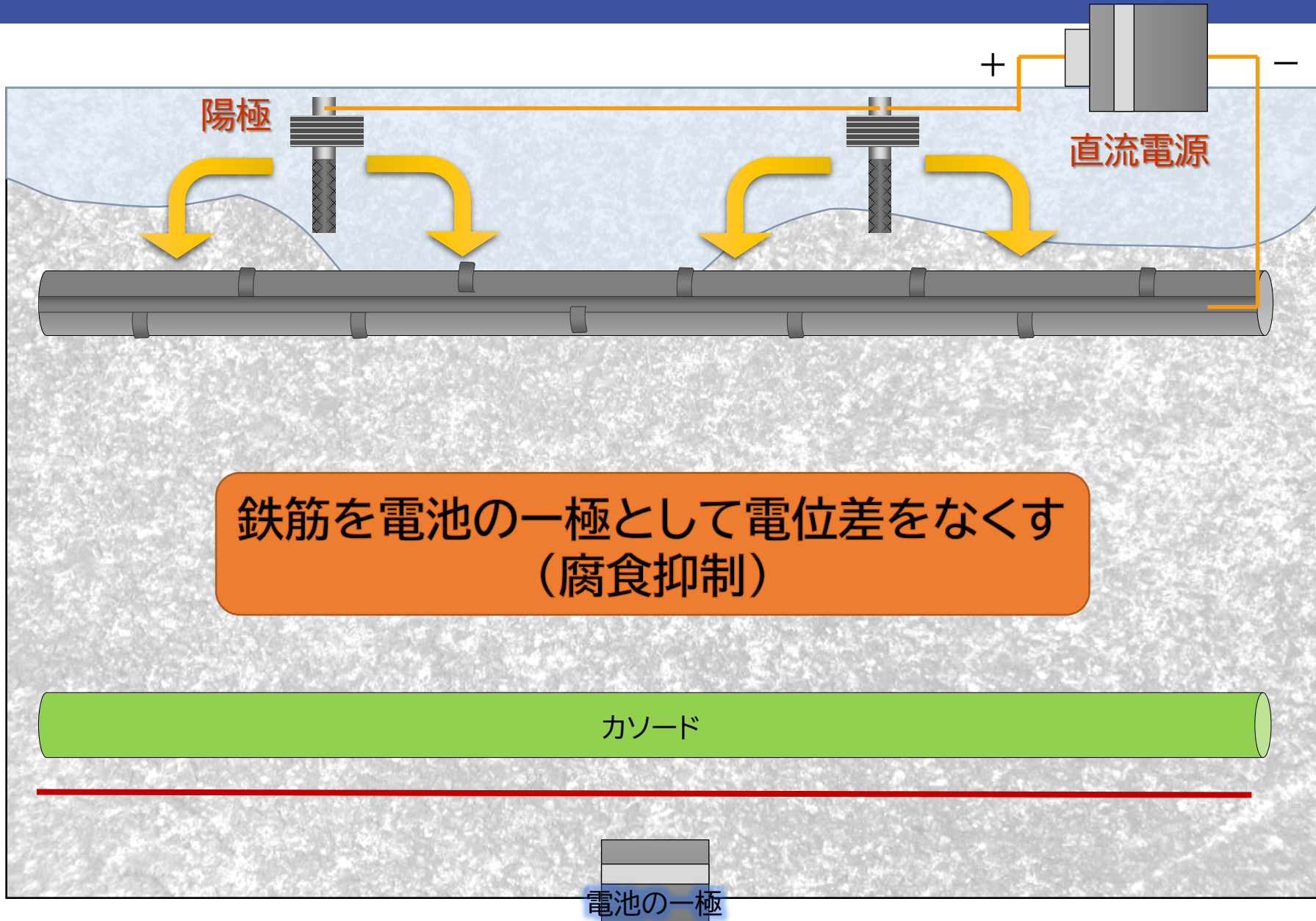
電気防食工法は電気化学的作用を用いた防食工法

= 信頼性が高い

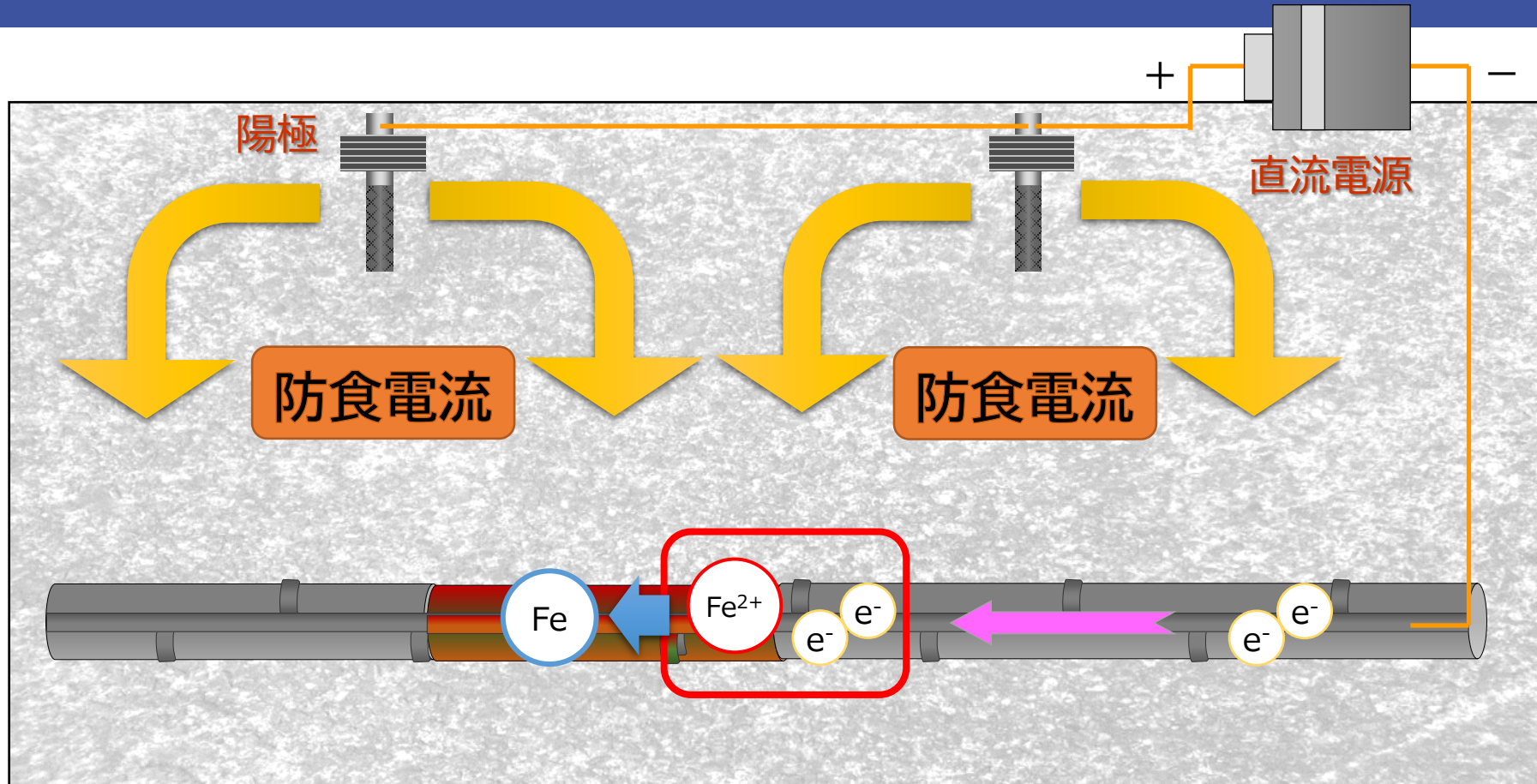
電気防食工法のイメージ



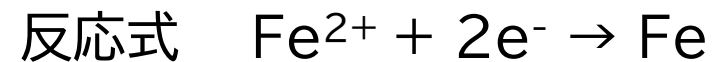
電気防食工法のイメージ



電気防食工法のイメージ



- 電子(e⁻)は電流とは逆方向へ流れるため、鉄筋を陰極に接続することで電子が鉄筋へ供給される。
- 鉄イオン(鋼の腐食状態)へ電子が供給されることで、鉄筋のイオン化(腐食)を抑制する



電気防食工法(外部電源方式)の特徴

【メリット】

- 鉄筋の防錆処理が不要。
- コンクリート内の塩分を除去する必要がない。
- LCC(ライフサイクルコスト)の低減が図れる。

【デメリット】

- 通電し続ける必要があるため、高度な維持管理が必要。
- 構造物の劣化が著しい場合は、他工法と併用する必要がある。
(鋼材の断面欠損や構造物の耐力は回復しない)
- 表面被覆との併用は不可。

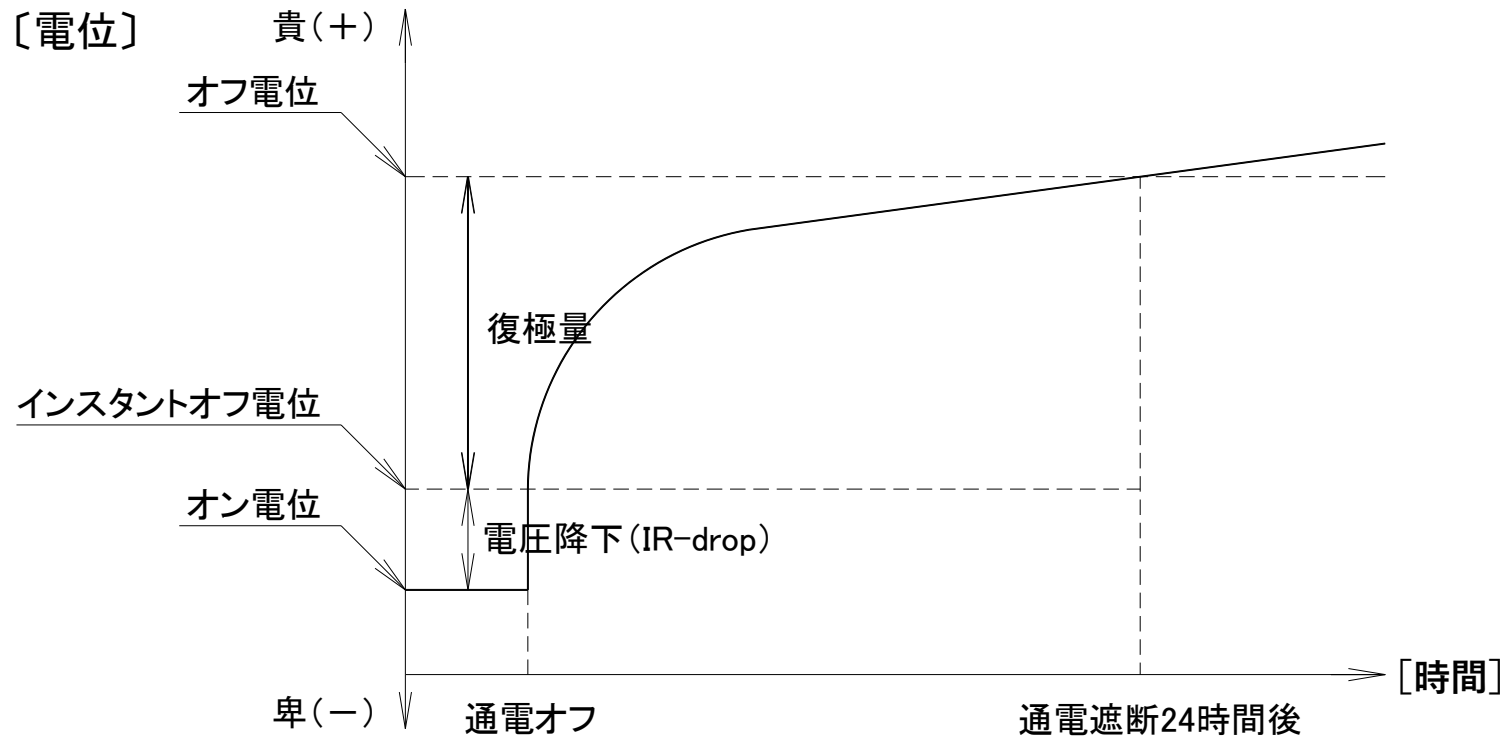
防食効果の基準

・防食効果の基準 日本土木学会指針(案)

電位変化量(復極量測定試験による)が24時間で100mV以上あること。

鋼材の電位値が-1,000mV(飽和銅/硫酸銅電極基準[CSE])以上であること。

復極量 = インスタントオフ電位と24時間後のオフ電位の差



復極量試験概念図

防食効果の基準(ヨーロッパの判定法)

・対象1m²当たりの電流密度と短時間の復極量の関数より腐食電流密度へ変換し性能評価することも可能。

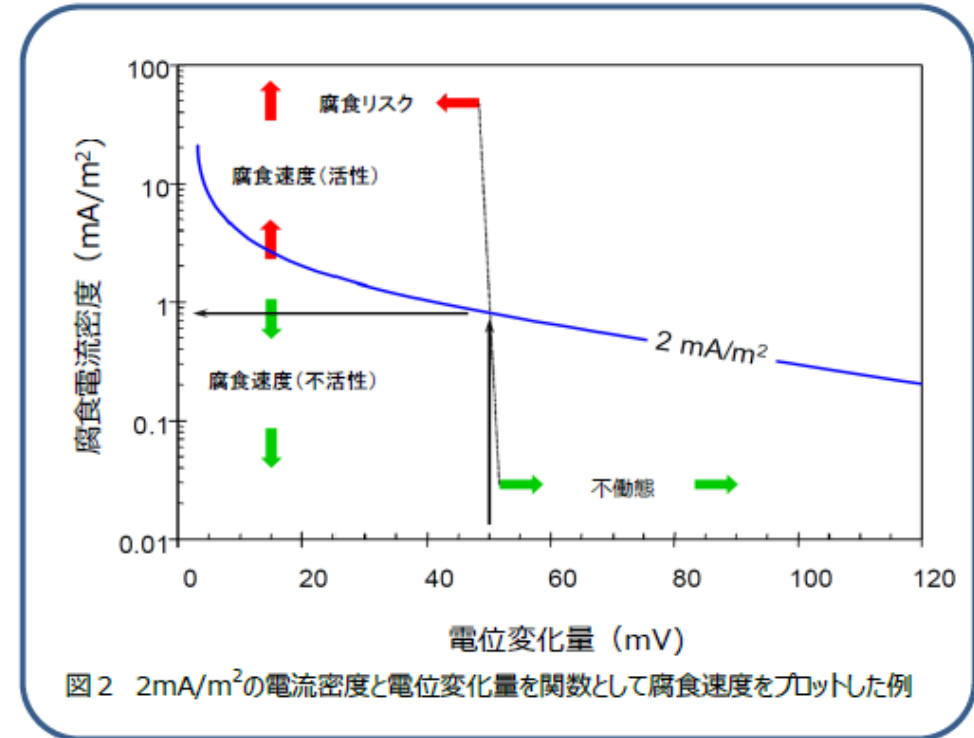
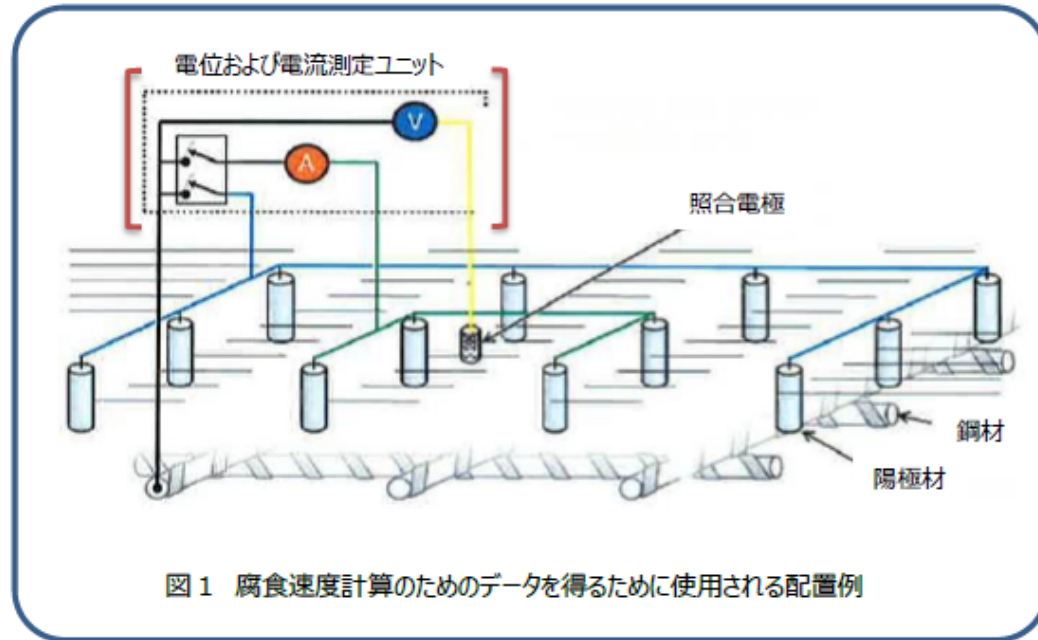
概要：鋼材の腐食は電気化学的作用によるものであり、鋼材の腐食電流密度が1mA/m²以下の場合1000年で約1mmの減肉を生じる。科学的にはμA/cm²の単位で扱われ、1mA/m²は0.1μA/cm²である。腐食速度は、鋼材の電位変化量と供給電流密度を用いて下記の式で与えられる。

$$i_{corr} = \frac{i_{appl}}{\left(\exp\left(\frac{2.3\Delta E}{\beta_c}\right) - \exp\left(-\frac{2.3\Delta E}{\beta_a}\right) \right)}$$

i_{corr} : 腐食電流密度【mA/m²】
 i_{appl} : 供給電流密度【mA/m²】
 ΔE : 電位変化量【mV】
 β_c, β_a : ターフェル勾配【120mV】

ΔE はIO電位からのOFF電位、 $\beta_c \cdot \beta_a$ はターフェル勾配で定数として120mVを採用する。上記の式はButler-Volmer equationより求められる。

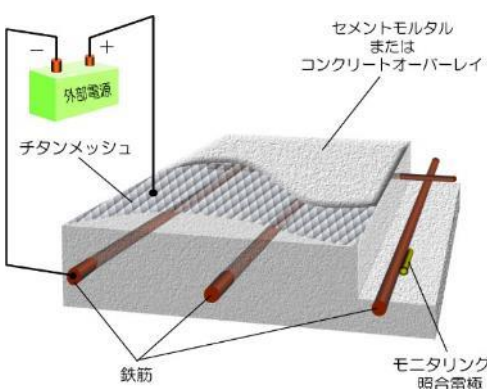
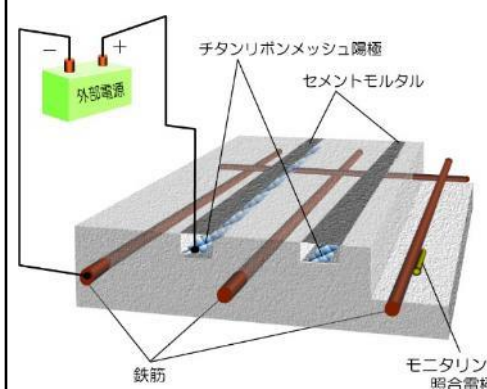
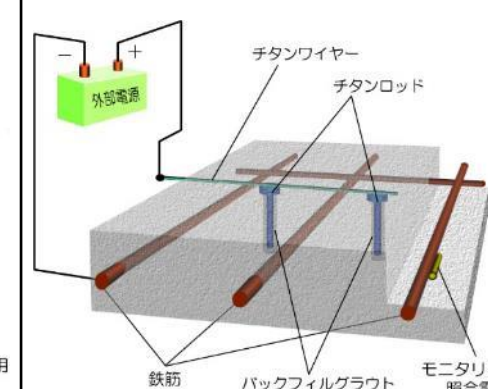

<2mA/m²以下の腐食電流密度は鋼材が不働態、2~5mA/m²は腐食度低、5~10mA/m²は腐食度中、10mA/m²以上は腐食度大と判断する。
 (BS EN ISO12696:2012 Cathodic protection of steel in concreteによる)



3. チタンロッド内部挿入陽極工法

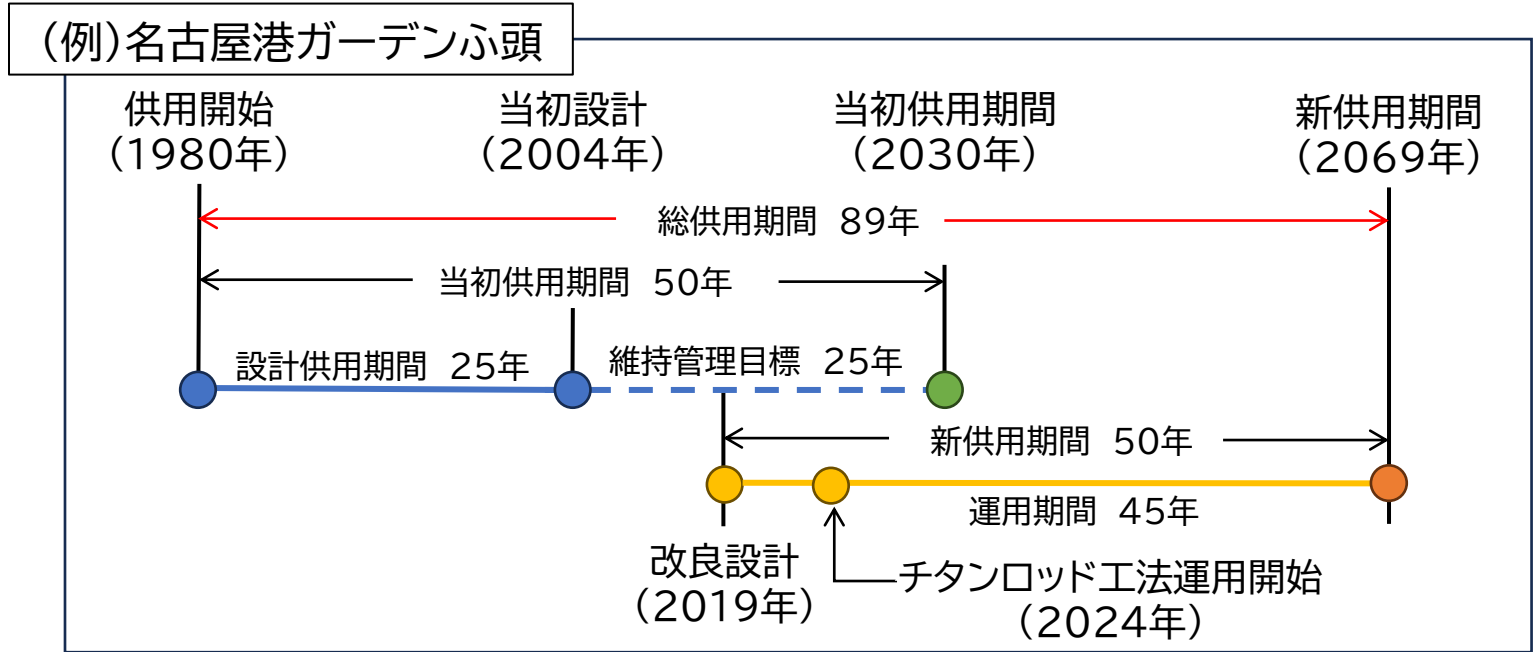
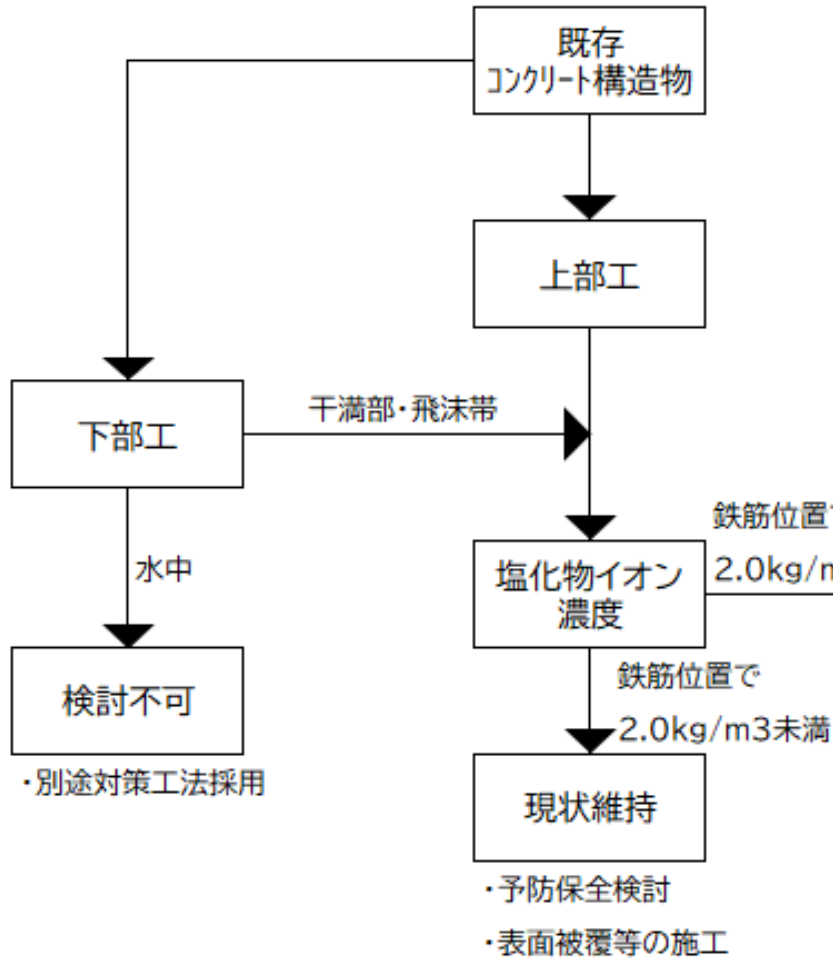
チタンロッド内部挿入陽極工法の概要

チタンロッド内部挿入陽極工法は外部電源方式の点状陽極電気防食工法

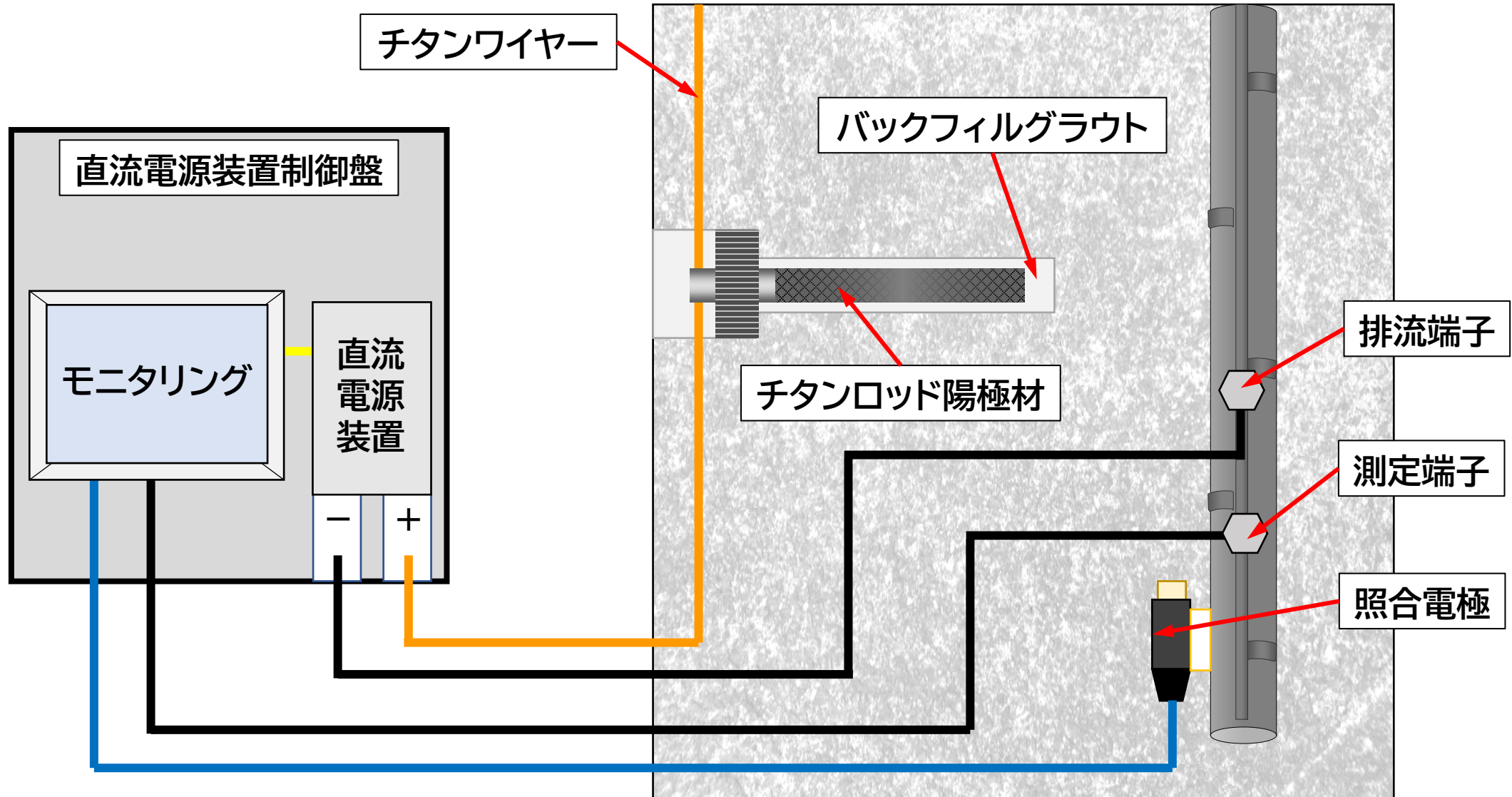
通電方式	外部電源方式			流電陽極方式
陽極方式	面状陽極方式	線状陽極方式	点状陽極方式	点状陽極方式
工法例	チタンメッシュ、チタン溶射、導電性モルタル他	リボンメッシュ、チタングリッド、ニッケル被覆炭素繊維他	チタンロッド	パッチガード、デュオガード他
概要図	 <p>対象へ面状に陽極を設置する</p>	 <p>対象へ溝切し線状に陽極を設置する</p>	 <p>対象へ削孔し点状に陽極を設置する</p>	

電気防食工法の選定フロー(海洋構造物例)

対象は既設コンクリート構造物とする。



チタンロッド内部挿入陽極工法構成材料

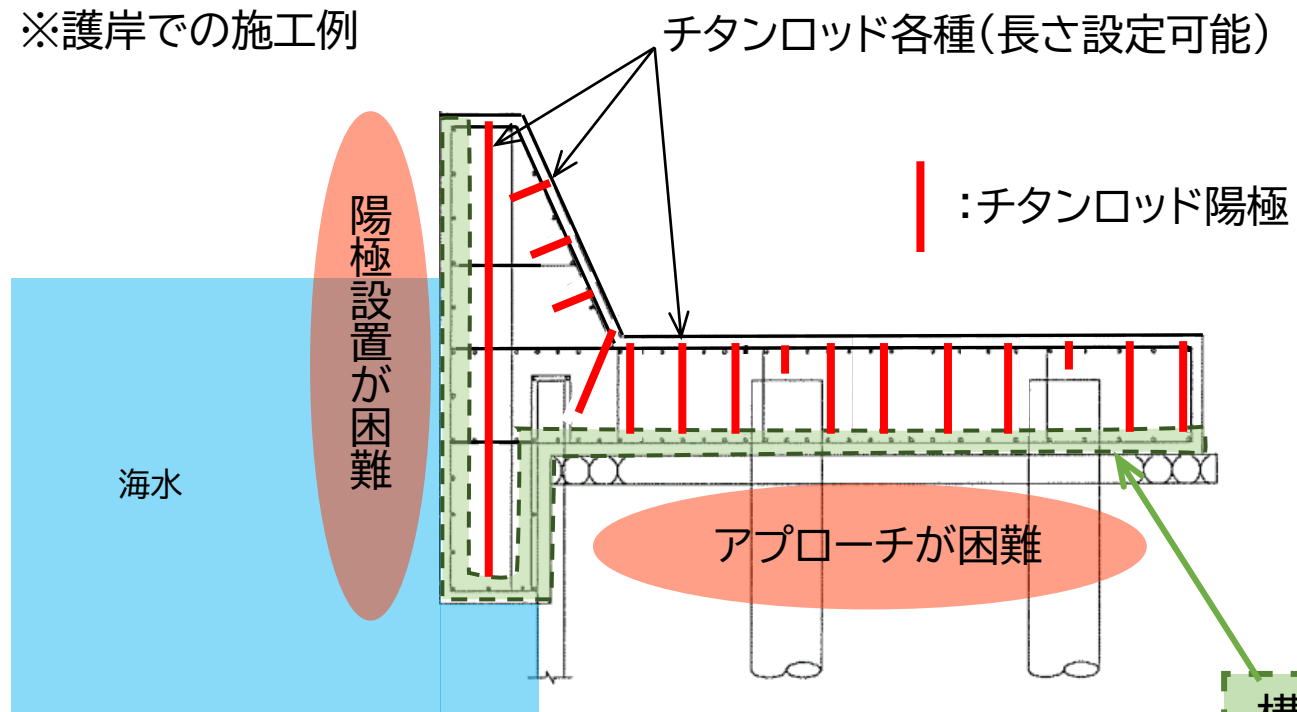


チタンロッド内部挿入陽極工法の特長①

1. 片側からの一方向施工が可能。

→ 片側からの施工で構造物裏側の鋼材の防食が可能

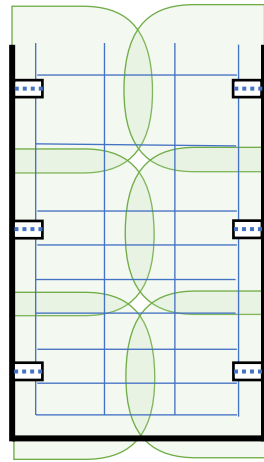
※護岸での施工例



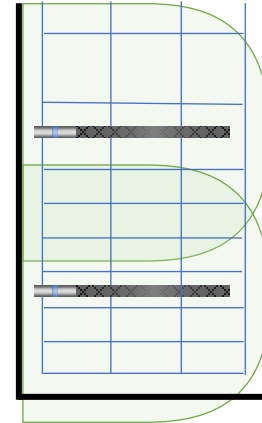
構造物裏側の鋼材の防食

チタンロッド内部挿入陽極工法の特長②

2. 厚みのある構造物は片面からの施工で構造物両面の鉄筋防食が可能。
→ 最大4,000mmまでの陽極長の製作が可能



線状陽極方式



チタンロッド工法

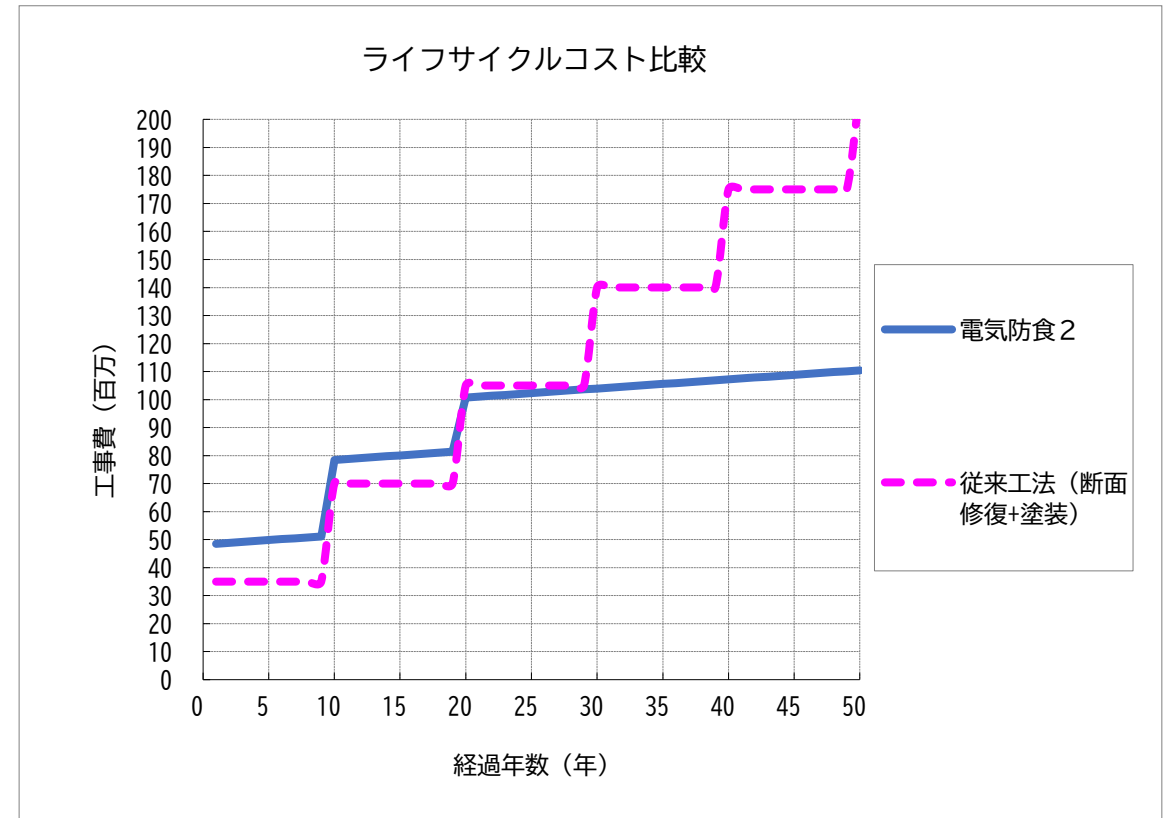
片側からの施工により材料費や施工手間の削減につながりコストの削減が可能

一方のアプローチが困難な場合でも片面施工により両面の防食対応が可能

チタンロッド内部挿入陽極工法の特長③

3. 陽極材が独立しているため、防食範囲の拡張が容易。

→ 陽極材の追加、チタンワイヤーの延長で防食範囲を拡張(コスト分散可)



参考条件:対象1,000m²

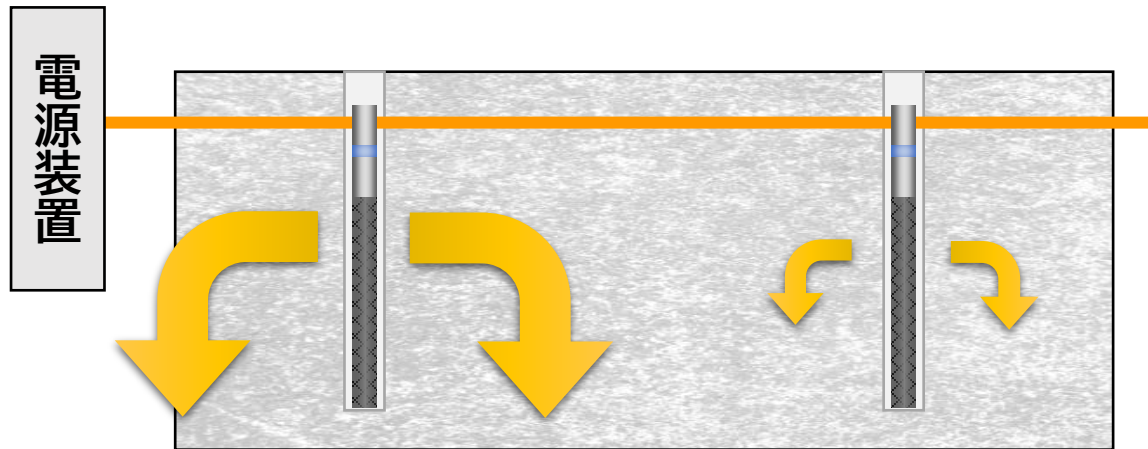
--- 従来工法(表面被覆共)は全体の10%を10年ごとに補修

— チタンロッド工法は初年度全体の50%、10年目30%

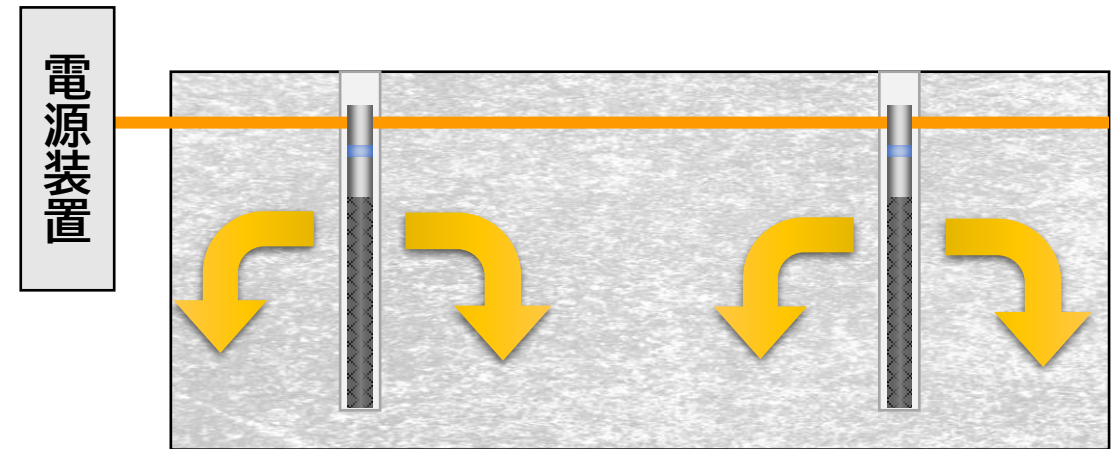
20年目残り20%を施工した場合のLCC

チタンロッド内部挿入陽極工法の特長④

- 陽極材の設置には**特殊な工具を用いず**に施工が可能。
→ 乾式ドリル、ディスクカッター、ハンドミキサー等で施工可
- 湿潤した構造物(干満部等)においても**良好な電流分布**が得られる。
→ 陽極内部に備えた抵抗体により局所的な電流集中を抑制



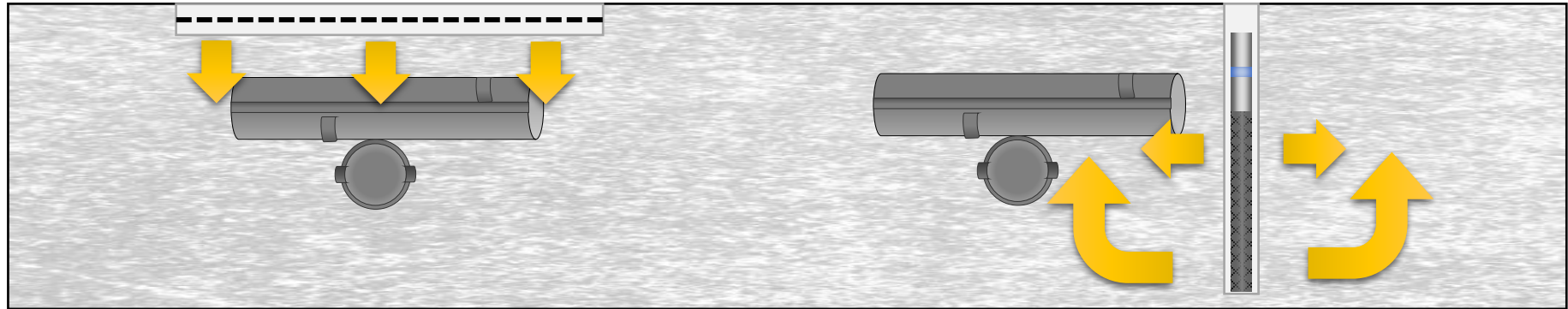
抵抗体がない場合



抵抗体がある場合

チタンロッド内部挿入陽極工法の特長⑤

6. 陽極材を構造物内部へ削孔挿入するため、鉄筋かぶり厚に影響され難い。
→ 国内は鉄筋かぶり厚の薄い構造物が多いため、削孔挿入型は有利



線状陽極方式

- ・ 鉄筋と陽極が短絡する懸念
- ・ 陽極近傍鉄筋への電流集中

点状陽極方式

- ・ 鉄筋かぶりの奥側より防食電流を供給

チタンロッド内部挿入陽極工法の特長⑥

7. 従来工法と比較して環境負荷が小さい。

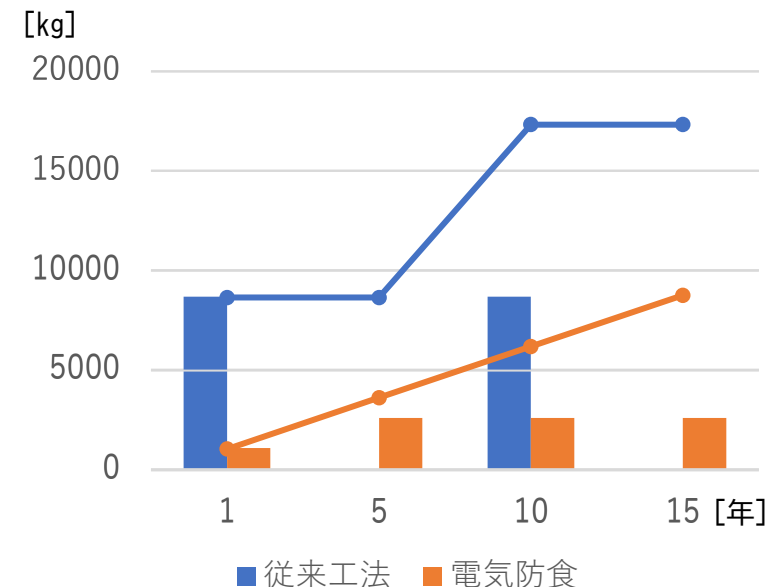
条件例：対象面積1,000m² チタンロッド工法は全体に適用(8V 20mA/m²)

断面修復は全体の10%(100m²)を10年ごとに更新

温室効果ガス排出量

- ・ 従来工法 9m³×962.6kg/m³(グラウト1m³当たりの排出量)=8,663kg
- ・ 電気防食 552kg(設置時) 514kg/year(通電継続負荷による年間排出量)

※各数値は概算の算出例



施工手順 ①



鉄筋探査・遣り方



陽極設置孔削孔



かぶり確認



孔間切削



チタンロッド挿入



バックフィル材充填

施工手順 ②



チタンワイヤー結線



設置完了



孔・溝埋戻し



照合電極設置



照合電極埋戻し



埋戻し完了

施工手順 ③



直流電源装置盤設置



配管・配線



初期通電調整

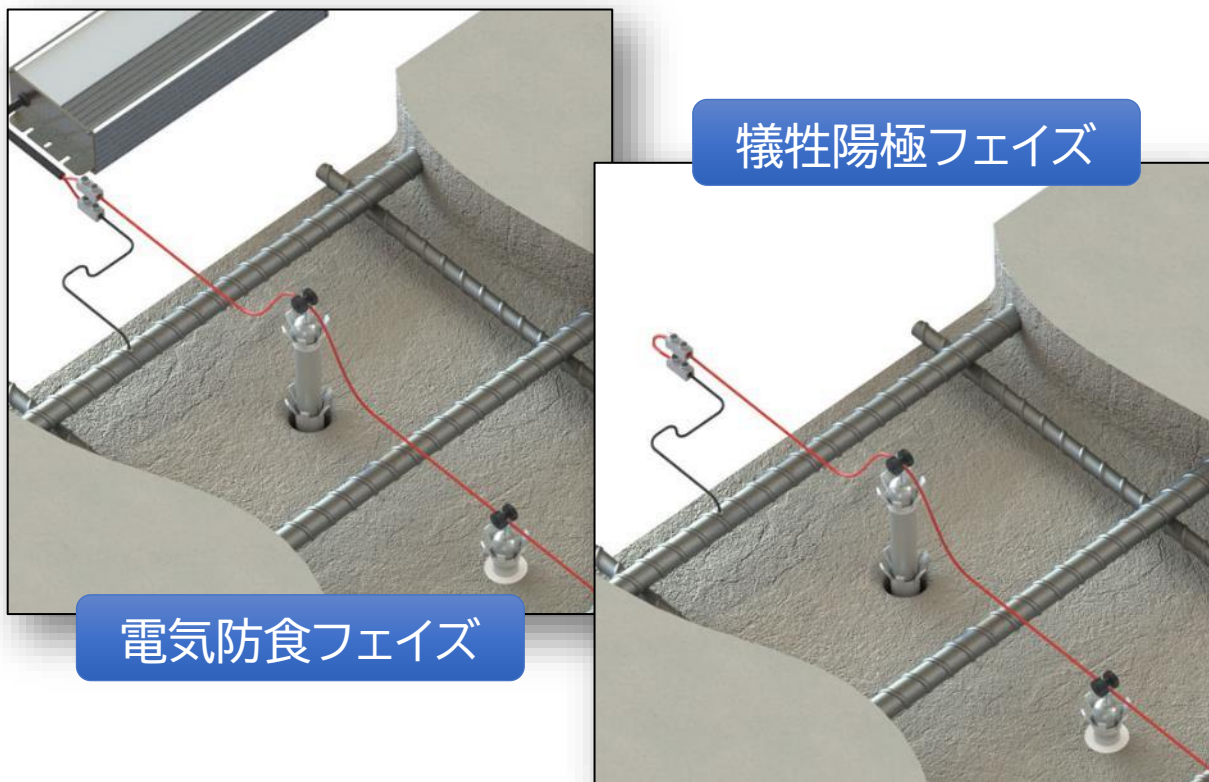


施工完了

その他の弊社電気防食工法【流電陽極方式】

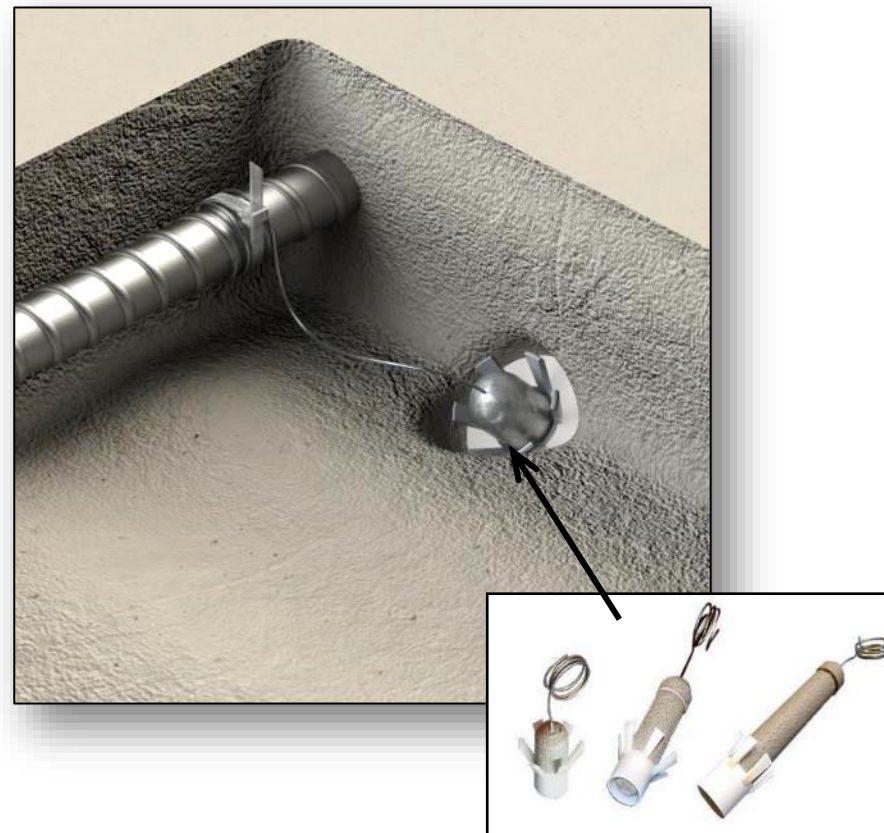
- 鉄と亜鉛のイオン化傾向の違いにより、亜鉛(犠牲陽極)が鉄(鉄筋)より先にイオン化する(錆びる)ことで鉄の腐食を抑制する材料。メンテナンスが容易。

デュオガード工法(ハイブリッド犠牲陽極材)



コンクリート構造物の長寿命化対策に効果的

パッチガード工法



マクロセル腐食対策に効果的

4. 施工事例

施工事例（海洋鉄塔基礎：岡山県）



対象	海洋鉄塔RC基礎(岡山県) 梁・柱
施主	電力会社
工法	チタンロッド内部挿入陽極工法(durAnode2)
	点状陽極－外部電源方式
採用理由	塩害対策長寿命化
施工年度	2002年 設置
	2024年 仕様変更により陽極材交換(柱部)



施工22年後に、はつり出し確認した鉄筋

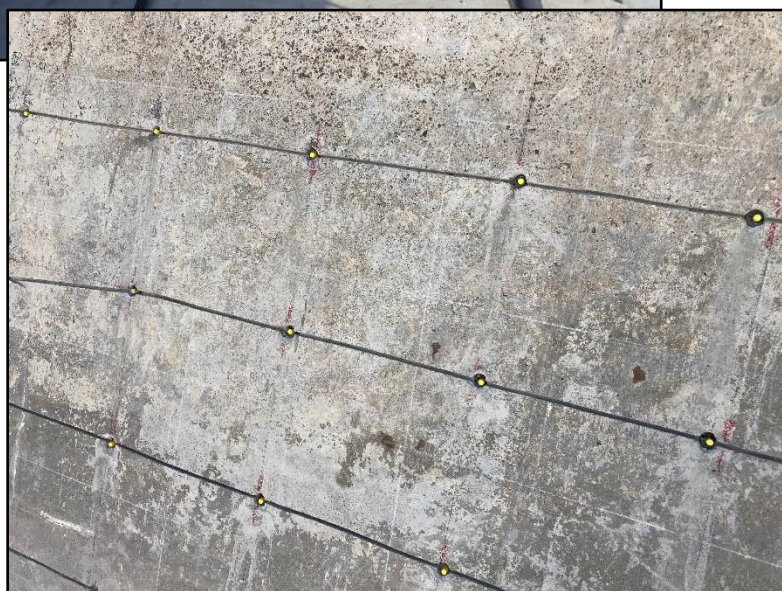
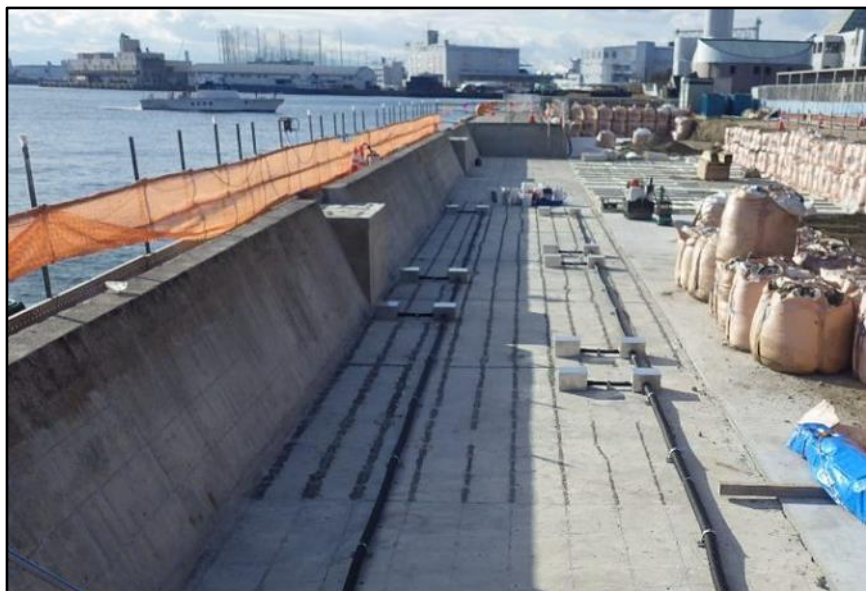
施工事例（ 栈橋：岡山県 ）



対象	RC栈橋(岡山県) 梁・床版
施主	電力会社
工法	チタンロッド内部挿入陽極工法(durAnode2)
	点状陽極－外部電源方式
採用理由	塩害対策長寿命化
施工年度	2006年 設置



施工事例（セル式護岸：愛知県）



対象	RCセル式護岸(愛知県) 上部工
施主	名古屋港管理組合
工法	チタンロッド内部挿入陽極工法(durAnode4)
	点状陽極－外部電源方式
採用理由	塩害対策・耐震長寿命化、片側施工による優位性
施工年度	2022年～2024年 設置（運用開始は2024年）



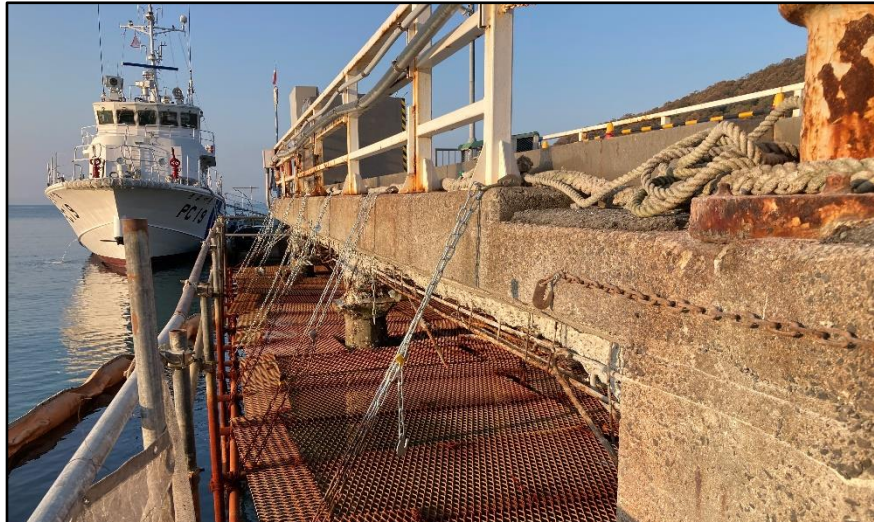
施工事例（ 栈橋：香川県 ）



対象	RC栈橋(香川県) 上部工
施主	民間製鉄
工法	パッチガードコネクト工法 (PatchGuard 350 Connect) 150個
	点状陽極ー流電方式 モニタリングシステム
採用理由	塩害対策・長寿命化
施工年度	2019年 設置



施工事例（ 栈橋：香川県 ）



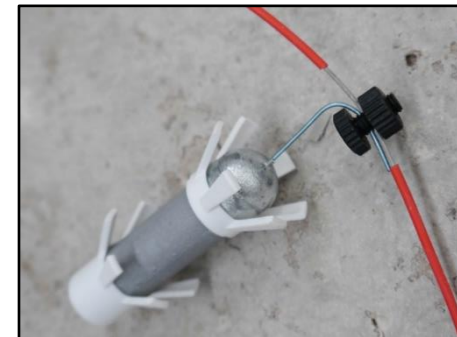
対象	RC栈橋(香川県) 梁・床版
施主	海上保安庁
工法	パッチガードコネクト工法 (PatchGuard 350 Connect) 450個
	点状陽極ー流電方式 モニタリングシステム
採用理由	塩害対策・長寿命化
施工年度	2022年 設置



施工事例（河口鉄塔基礎：岡山県）



対象	河口鉄塔RC基礎(岡山県) 梁・杭頭
施主	電力会社
工法	デュオガード工法 (DuoGuard 500, 750) 350個
	点状陽極－外電・流電ハイブリッド方式 モニタリングシステム
採用理由	長寿命化、片側施工による優位性
施工年度	2019年 設置



ご清聴ありがとうございました。

