

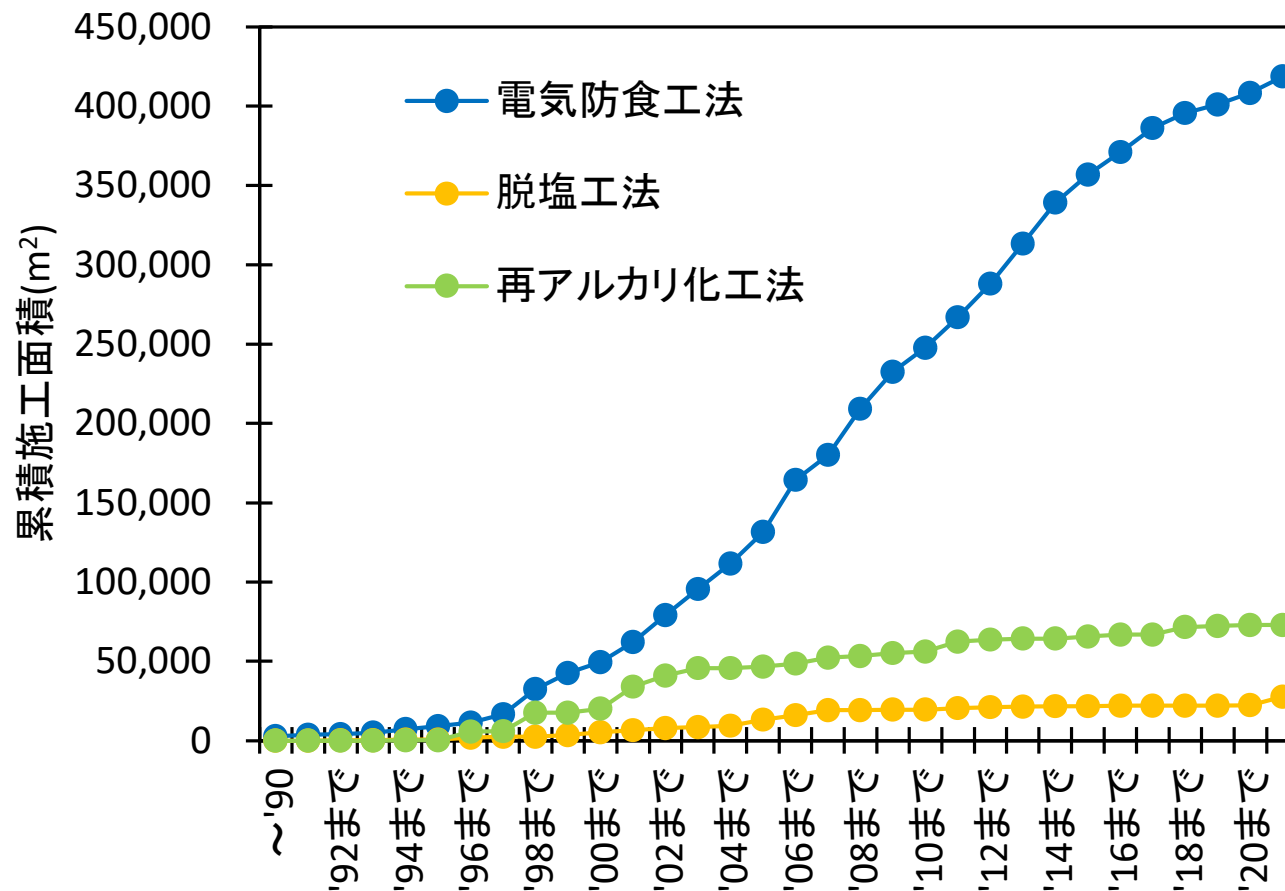
CP工法研究会 30周年記念事業  
インフラのサステナビリティに貢献する「電気化学的防食工法」  
への期待と展望  
—CP工法研究会30周年を振り返って—

電気化学的防食工法の技術変遷と実績・事例紹介

CP工法研究会 技術委員長 槇島修

# 電気化学的防食工法の適用状況

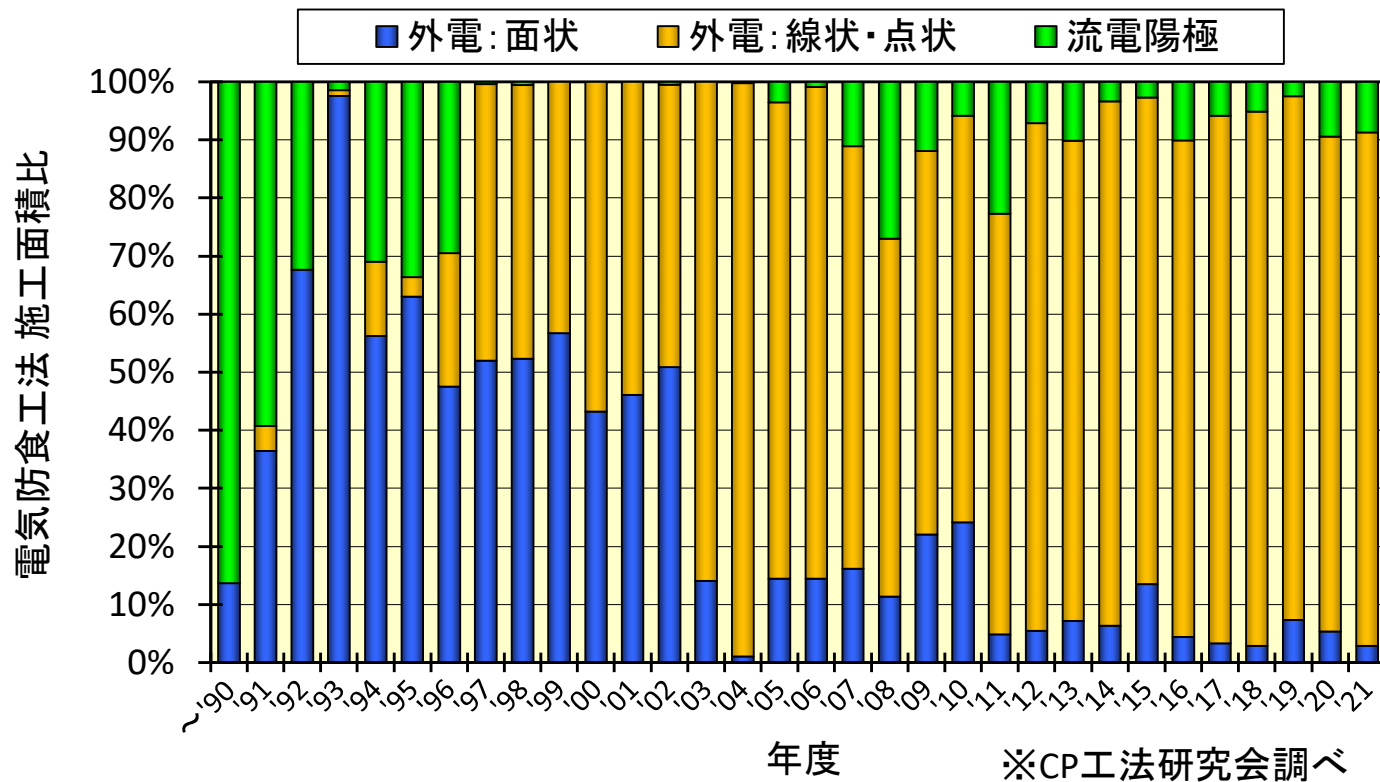
- ・施工実績は、1990年代後半から急速に増加
- ・電気防食工法，再アルカリ化工法，脱塩工法の順に施工実績が多い



※CP工法研究会調べ

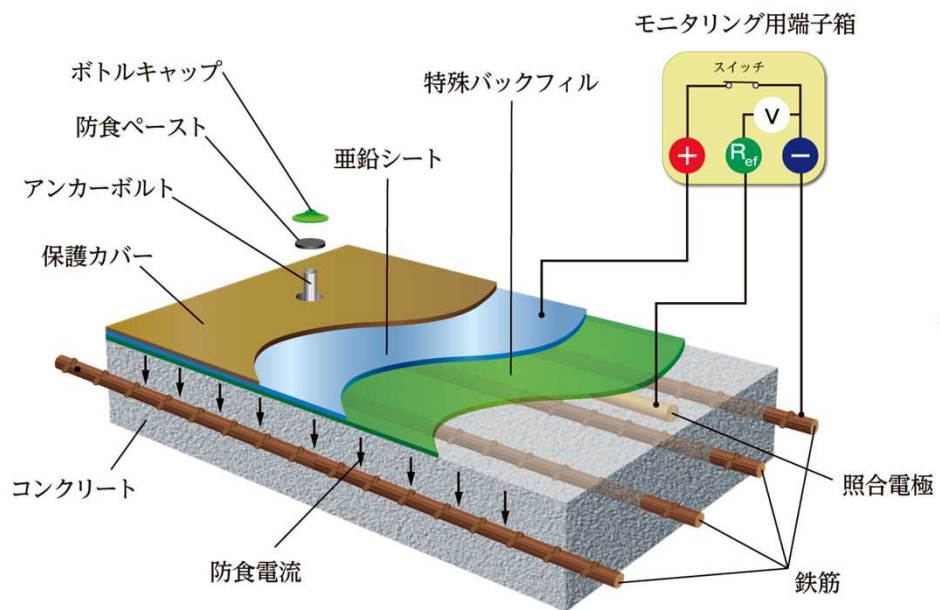
# 電気防食工法

- ・1980年代後半から面状陽極の外部電源方式, 流電陽極方式を中心に展開
- ・1990年代後半から線状陽極方式の外部電源方式が増加
- ・2000年代以降は, 構造物の状態や施工条件に応じて流電陽極方式や外部電源方式・面状陽極も継続して適用されている

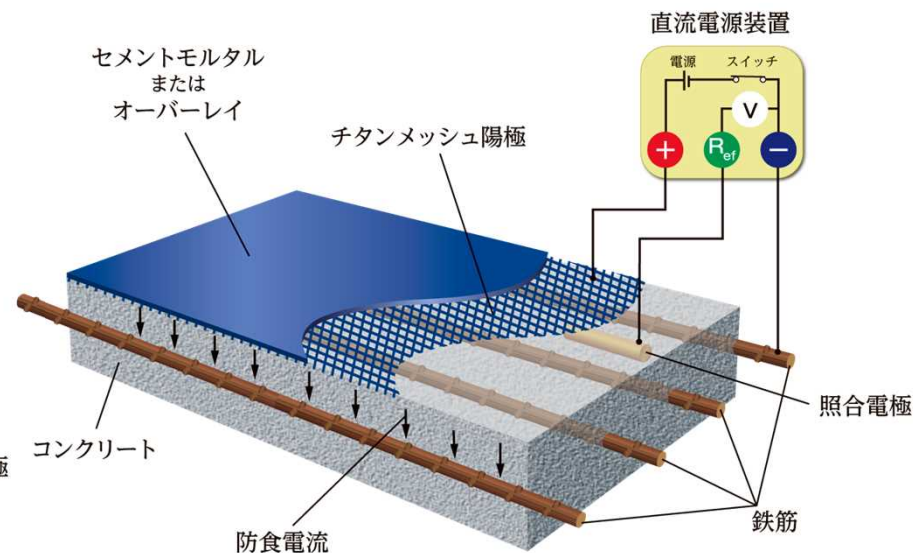


# 電気防食工法

- ・面状陽極方式の「亜鉛シート方式」と「チタンメッシュ陽極方式」
- 面状陽極方式は、防食電流の均一性に優れ
- 適用されてからの期間が長く、長期間の信頼性が確認される
- 陽極材およびオーバーレイなど全面に設置するため、死荷重が増加
- 死荷重の増加を避ける場合、線状陽極方式などの選択肢が存在



亜鉛シート方式  
【流電陽極方式】



チタンメッシュ陽極方式  
【外部電源方式】

# 電気防食工法

- ・線状陽極方式の「チタンリボンメッシュ陽極方式」, 「チタングリッド方式」
  - 躯体表面が確認できることから, 外観観察による健全性評価が可能
  - 表面被覆が適用された構造物に適用できる
  - 適用されてからの期間が長く, 長期間の信頼性が確認される主流工法
  - 既存コンクリートの被覆材の撤去が少量で死荷重の増加が少ない
  - 躯体に溝を設置するため, 鉄筋のかぶりが小さい条件では適さない
    - かぶりが小さく適用できない場合は, 表面設置のユニット方式などが開発
    - 切削量を減少させる, 縦型の溝切方式「PI-Slit方式」などが開発

チタンリボンメッシュ陽極方式【外部電源方式】



チタングリッド方式【外部電源方式】



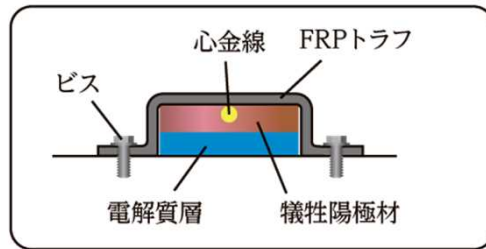
# 電気防食工法

- ・陽極材をユニット化した「NAKAROD方式」, 「e-Cover・C方式」
- 陽極材設置のための躯体の切削が不要であり, 廃棄材が発生しない
- かぶりが小さい条件でも適用可能
- 流電陽極方式は, 施工性に優れ, 陽極ユニットの交換も容易

## 線状流電陽極ユニット方式 (NAKAROD 方式)

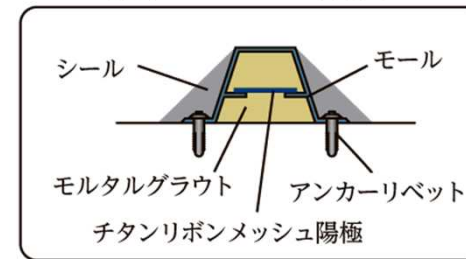
陽極ユニット断面

【流電陽極方式】



## e-Cover・C方式 【外部電源方式】

陽極システム断面





# 電気防食工法

- ・陽極材を溶射設置する「チタン溶射方式」, 「亜鉛・アルミ擬合金溶射方式」
- 面状陽極のため, 防食電流の均一性に優れる
- 施工性に優れる
- 美観に優れる
- ・亜鉛・アルミ擬合金溶射方式: 標準仕様
- ・チタン溶射方式: 上塗り塗料を行う仕様の場合

チタン溶射方式 【外部電源方式】



亜鉛・アルミ擬合金溶射方式 【流電陽極方式】



# 電気防食工法

## ・新設構造物への適用による予防保全の事例・実績報告

名立大橋(北陸地整): 供用10年の追跡調査(JCI年次論文集2012年)

南浜1号橋(沖縄総合事務局):

民間棧橋PC桁: 13年の防食効果確認(土木学会学術講演会2005年)



コンクリート打込み前に設置された陽極材

新設時は、陽極の設置が容易

塩化物が侵入しても鋼材腐食を  
生じさせない

鋼材が健全な状態から通電する  
ため、必要な電流量が小さく、  
陽極材の寿命が長い



予防保全としての適用が効果的



# 電気防食工法

## 【電気防食工法】遠隔監視システムの現状(システム1の例)

実施目的: ①電源電圧, 防食電流, 鋼材電位, 復極量の測定・監視

データ通信方式: 携帯電話通信(モバイルデータ通信)

モニタリング方法: クラウド方式によりパソコン, モバイルなどで確認可能

警報機能: データ通信異常, 電源供給停止時にメール配信される

維持管理費用: モバイルデータ通信利用料, クラウド維持費用

**特徴**

- ◆どこからでも状況把握が可能
- ◆通電異常による防食電流の調整は、現地の直流電源装置で実施

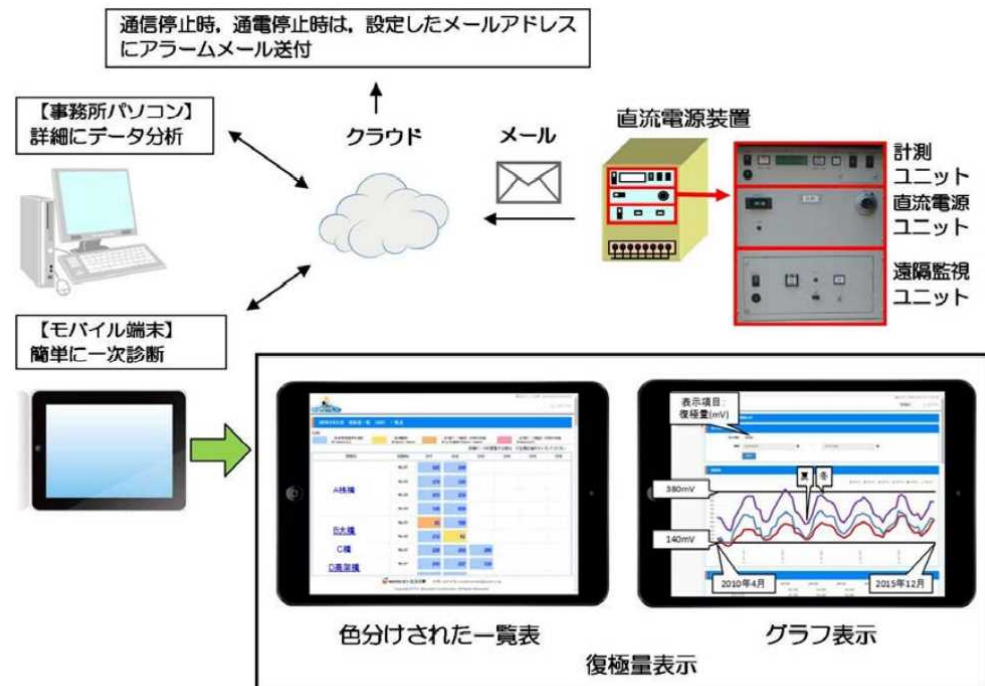


図-1 遠隔モニタリングシステム(システム1)の構成

# 電気防食工法

## 【電気防食工法】遠隔監視システムの現状(システム2の例)

実施目的: ①電源電圧,防食電流,鋼材電位,復極量の測定・監視

②電源電圧, 防食電流の制御

データ通信方式: 電話回線

モニタリング方法: 事務所パソコンの専用プログラムにて現地データ回収

警報機能: 落雷, 停電などの通電異常時に警報を発信する

維持管理費用: 電話回線使用料

### 特徴

- ◆遠隔で電流調整が実施可能
- ◆直流電源装置の設置位置が容易に立入りにできない場合でも, 防食電流がいつでも調整可能

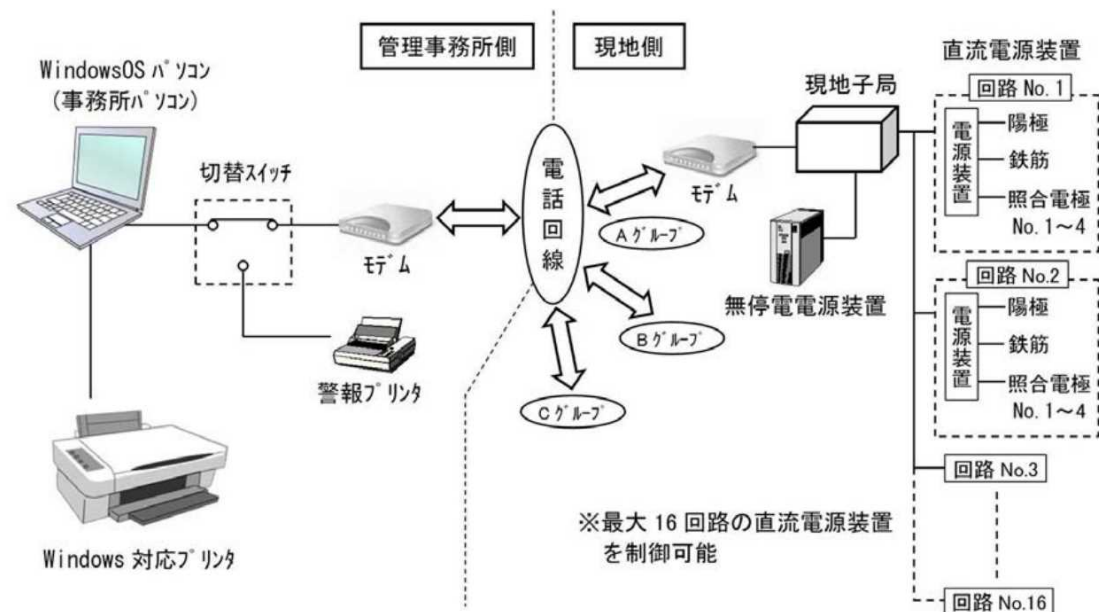


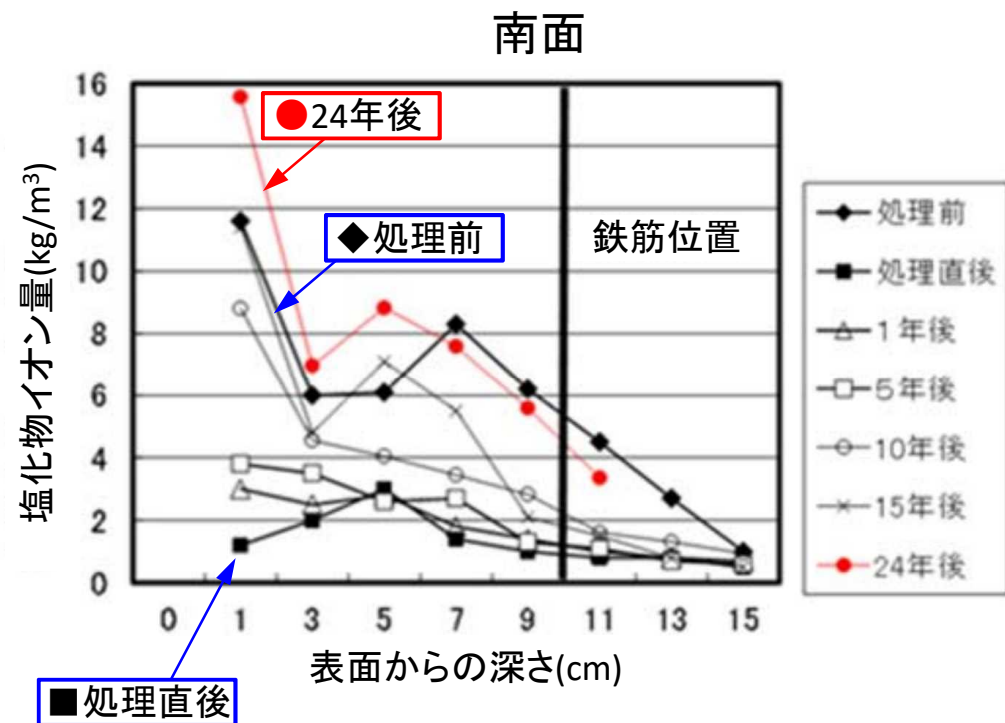
図-1 遠隔モニタリングシステム(システム2)の構成

# 脱塩工法

- ・適用構造物:新潟県旧国道8号線コンクリート橋梁  
厳しい塩害環境に脱塩工法を適用し, 24年経過した構造物の健全性評価  
(コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集2018年)
- ・処理前:鉄筋位置の塩化物イオン量 $4.0\text{kg/m}^3$ を超える
- ・脱塩工法適用後24年後:塩化物イオン量が処理前の状態まで再侵入



脱塩工法適用対象RC橋脚

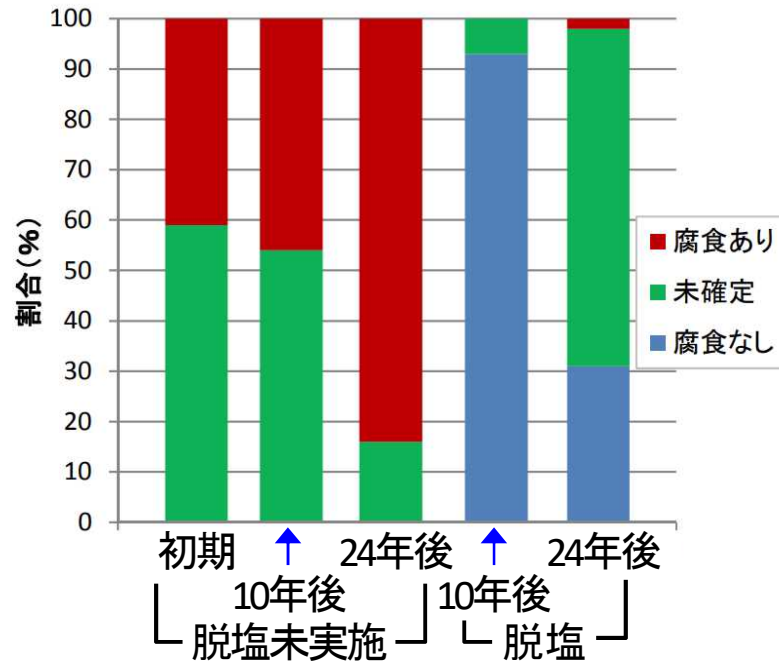


# 脱塩工法

- ・自然電位鉄筋腐食の判定: 腐食方向に推移するが腐食ありの割合が低い
- ・外観観察: 脱塩未実施で劣化損傷の進展が顕著, 脱塩で健全な状態を維持

ASTM C876 による鉄筋腐食判定基準

| 自然電位 (E)<br>(VvsCSE)      | 鋼材腐食の可能性      |
|---------------------------|---------------|
| $-0.20 < E$               | 90%以上の確率で腐食なし |
| $-0.35 \leq E \leq -0.20$ | 未確定           |
| $E < -0.35$               | 90%以上の確率で腐食あり |



10年後

24年後

脱塩  
橋脚



脱塩  
未実施  
橋脚





# 脱塩・再アルカリ化工法

- ・適用構造物: 1970年建設のラーメン高架橋, 兵庫県海岸から5kmに位置  
 コンクリート中の塩化物イオン濃度高い(1.9~4.5kg/m<sup>3</sup>)  
 かぶり(19~62mm)に対し, 中性化が進行(22~34mm)

17年経過した脱塩・再アルカリ化工法の効果報告: (JCI年次論文集2012年)



脱塩・再アルカリ化工法適用構造物

表-2 かぶりと中性化深さ (mm)

| 部位        | 鉄筋種別 | 鉄筋径 | かぶり | 中性化深さ |
|-----------|------|-----|-----|-------|
| 柱<br>(西面) | 帯鉄筋  | φ9  | 52  | 33.6  |
|           | 主鉄筋  | D32 | 62  |       |
| 梁<br>(中央) | 帯鉄筋  | φ13 | 19  | 22.1  |
|           | 主鉄筋  | D32 | 44  |       |

表-3 コンクリート中の塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

| 部位 | 表面からの採取深さ (mm) |       |       |       |       |       |
|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    | 0~15           | 15~30 | 30~45 | 45~60 | 60~75 | 75~90 |
| 柱  | 1.00           | 2.51  | 3.30  | 2.85  | 1.90  | 2.06  |
| 梁  | 1.06           | 2.51  | 4.53  | 4.00  | 3.01  | 2.54  |



# 脱塩・再アルカリ化工法

- ・脱塩効果：処理直後から塩化物イオン量が若干増加し，一定で推移
- ・再アルカリ化効果：鉄筋部のpHは上昇，17年後も高い状態を維持。  
表層部のpHは，経年で低下がみられるが高い値を維持

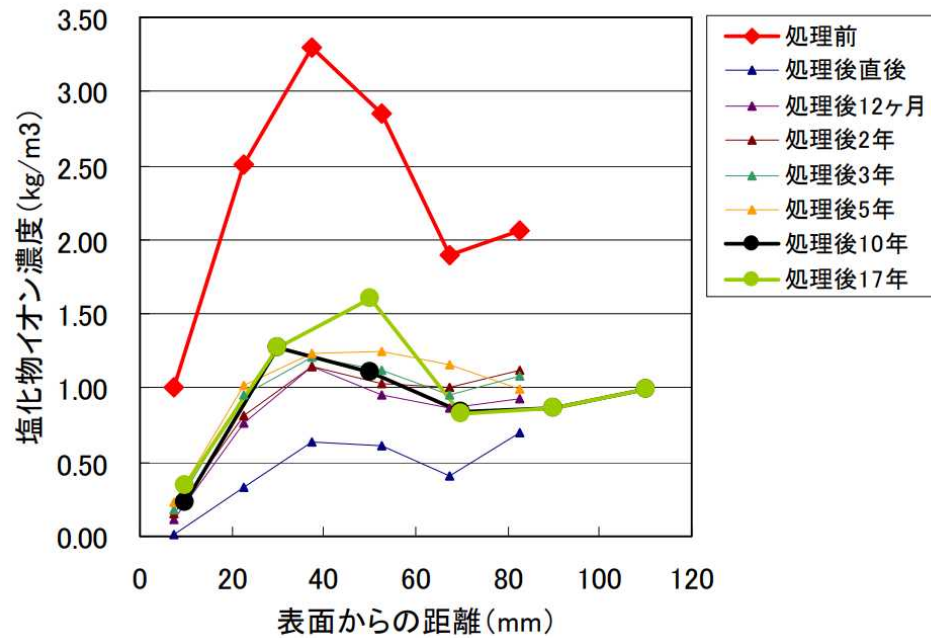


図-6 塩化物イオン濃度の推移

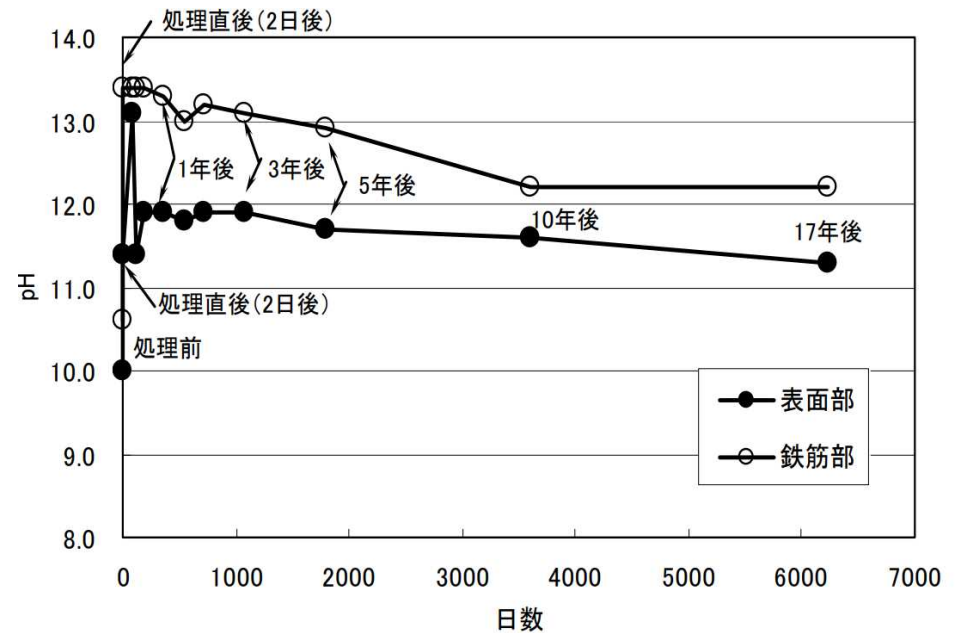


図-8 コンクリートの pH の推移 (試験紙法)

# 脱塩・再アルカリ化工法

## 鉄筋の腐食状態(自然電位)

処理直後から腐食なしと判断される割合が増加  
腐食なしと判断される割合が17年後99%

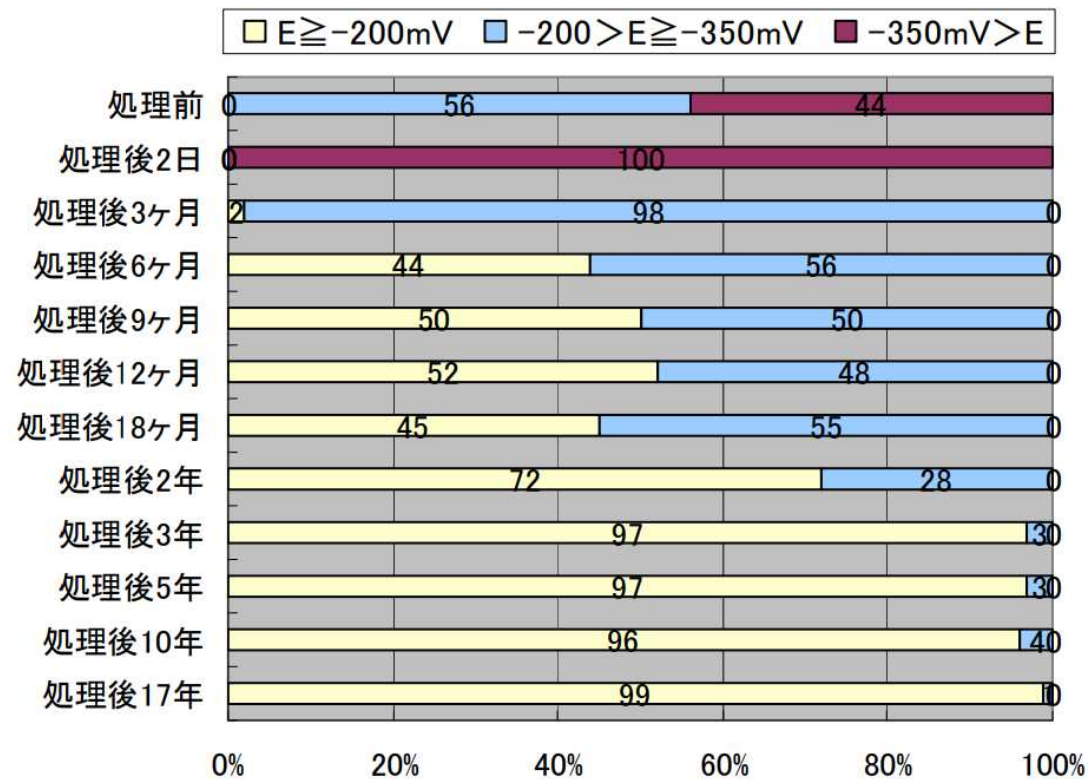


図-3 自然電位の測定結果の推移 (梁部)

## 技術の変遷と実績【まとめ】

- ・電気化学的防食工法の**実績は着実に増加**
- ・劣化環境や構造・施工条件に応じて**新たな工法が開発**
- ・遠隔モニタリングにより、**電気防食工法の維持管理性向上**
- ・実績の蓄積と適用後の調査結果から、  
**各工法の高い防食効果が認められている**
- ・電気化学的防食工法は、**予防保全としての適用が効果的**



**工法の改善と効果の検証により、工法の信頼性を向上**