塩害コンクリート構造物の防食

本資料は当社独自の技術情報を含みますが、公開できる範囲としています。
より詳細な内容をご希望される場合は、「お問い合わせ」よりご連絡願います。

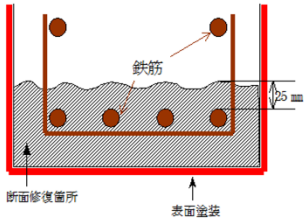
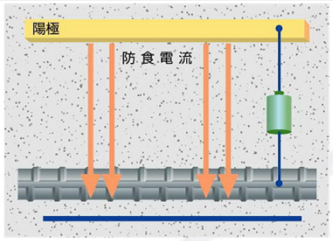
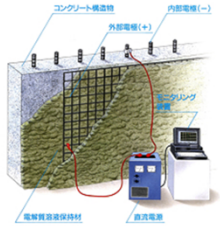
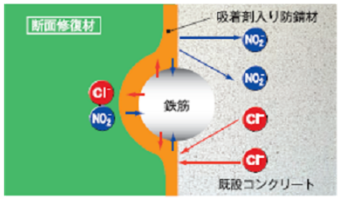
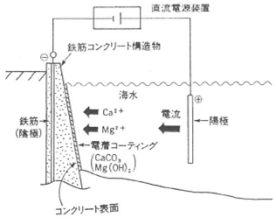
Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

塩害の標準的な補修工法

構造物の外観上のグレード	劣化の状態	標準的な工法
状態Ⅰ－１ （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	表面処理
状態Ⅰ－２ （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	表面処理 電気防食 電気化学的脱塩
状態Ⅱ－１ （加速期前期）	腐食ひび割れ発生 錆汁が見られる	表面処理・断面修復 電気防食 電気化学的脱塩
状態Ⅱ－２ （加速期後期）	腐食ひび割れ多数発生、錆汁が見られる 部分的なはく離・はく落が見られる 腐食量の増大	電気防食 断面修復
状態Ⅲ （劣化期）	腐食ひび割れ多数発生 ひび割れ幅が大きい 錆汁が見られる はく離・はく落が見られる 変位・たわみが大きい	ＦＲＰ接着 断面修復 外ケーブル 巻立 増厚

Copyright（C）NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

塩害補修対策の比較検討

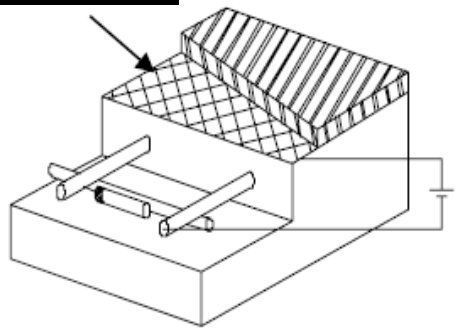
工法	断面修復＋塩害塗装工法	電気防食工法	脱塩工法＋塩害塗装工法	断面修復＋塩分吸着＋塩害塗装工法	電着工法
概要図					
工法概要	断面修復工 鉄筋周囲の塩分を完全に除去するため、鉄筋の背面25mm以上まではつり取る。断面修復材（無機系グラウト材または無機系セメントモルタル）により修復する 塩害塗装工 コンクリート表面に塗装を施すことにより、鉄筋の腐食要因となる塩分、酸素および水を遮断する（例：エポキシ系樹脂やアクリル系樹脂） コンクリート中の塩化物イオン量が少なく、現状以上に塩分が浸透しなければ鉄筋の腐食が生じないと判断されるときに適用できる。	断面復旧工 コンクリートの劣化部（浮き・剥落等の部分）を鉄筋の表面程度まではつり取り、電気防食に適した補修用モルタルにて修復する（鉄筋裏側の塩分を除去する必要はない） 電気防食工 微弱な電流による継続的な通電を行うことによってコンクリート中の鋼材の腐食反応を電気化学的に制御し、鋼材腐食による劣化の進行を抑制・停止する マクロセル腐食の抑制にも有効 PCおよびRCコンクリート構造物に適応できる	断面復旧工 コンクリートの劣化部（浮き・剥落等の部分）を鉄筋の表面程度まではつり取り、脱塩に適した補修用モルタルにて修復する（ただし、本工法では鉄筋裏側の塩分除去は不可） 脱塩工法 仮設陽極を設置して通電を行うことによって、コンクリート中に存在する塩化物イオンを電気化学的に除去もしくは低減し、塩害による鋼材腐食の劣化進行を抑制する 鉄筋裏側に塩化物イオン量が少ない場合およびに塩化物イオン量がそれほど多くない場合に有効	断面修復工 鉄筋周囲に塩分吸着剤等を塗布するため、鉄筋の背面10mm以上まではつり取る。断面修復材により修復する 塩分吸着工法 周囲の塩化物イオンを吸着し、腐食抑制効果のある亜硝酸イオンを供給することで鉄筋の腐食を抑制する 従来の断面修復に付加価値をつけた工法	断面復旧工 コンクリートの劣化部（浮き・剥落等の部分）を鉄筋の表面程度まではつり取り、補修用モルタルにて修復する 電着工法 電解質溶液を介して仮設陽極との間に直流電流を一定期間のみ流すことで、コンクリート表面に不溶性無機系物質の電着物を析出させる。ひび割れ部の閉塞，緻密化により、腐食因子の浸透抑制機能の向上を図る 海中部のような、不溶性無機系物質が多量にある環境下で適用可能
効果	腐食要因（塩分、酸素、水）の遮断	腐食電池の抑制・停止	塩化物イオン濃度の低減	インヒビターによる腐食抑制	腐食要因（塩分、酸素、水）の遮断
特徴	1．特別な技術を必要としない 2．防食性能に対する信頼度が低い 3．部分的な補修の場合、補修部と非補修部との塩分濃度の差により、非補修部の鉄筋にマクロセル腐食※が起こり、コンクリートの再劣化が生じる可能性が高い （※マクロセル腐食：補修部と未補修部のように塩分濃度差がある場合、それらの境界部で自然電位の勾配は急になり、腐食電流が流れることによる局部的な腐食）	1．防食効果に対する信頼性が非常に高い 2．コンクリート中への塩分浸透の度合いに関わらず、有効である 3．部分的断面修復を行った場合でもマクロセル腐食は防止できる 4．鉄筋の防食状態を定量的に確認できる 5．電気代がかかる場合がある 6．干満部あるいは補強と併用する場合には検討が必要	1．PC桁に適用する場合は、水素脆性の可能性があるため検討が必要 2．通電処理期間中に電食作用を受けるため、仮設陽極の選択が必要（チタン材なら可） 3．脱塩工法適用後は、塩害塗装を施す必要がある 4．鉄筋裏側の塩分を除去できないため注意が必要である	1．鉄筋背面の塩分を吸着できるので、劣化したコンクリートは鉄筋の裏側まではつり取る 2．使用材料は全て無機質であり、経年劣化を受け難い 3．モルタル補修工法と比べ、効果が長く持続する 4．塩分吸着工法適用後は、塩害塗装を施す必要がある 5．亜硝酸イオンは、環境に悪影響を与える恐れがある。	1．腐食した鋼材表面をアルカリ性の電着物で被覆し、鋼材の腐食を抑制することができる。 2．海水のような電解質が必要であり、大気中のコンクリート構造物では適用できない。
適用可能な塩化物イオン量	鋼材近傍にて1.2kg/m^{3}を越える塩化物イオンの全除去	塩化物イオン量に影響しない（無制限）	橋梁構造物であり脱塩効率50%の場合、鋼材近傍で2.4kg/m^{3}以下の塩化物イオン量であれば適応可能	実績が少なく条件不明	塩化物イオン量に影響しない（無制限）
維持管理方法	外観観察および打検	電流調整および電位変化量の測定	コンクリートの塩化物イオン量の測定	外観観察および打検	外観観察およびサンプリング
効果の確認	定性的	定量的（数値で評価可能）	定性的 （コア採取による塩化物イオン量の測定によりおおよその定量的な効果の確認は可能）	定性的	定性的
耐用年数	10年程度（塩害塗装は5年程度）	20年以上	10～20年程度	10～15年程度	10年程度

Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

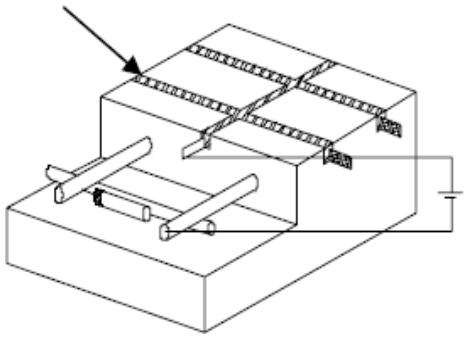
当社が行う電気防食方式

外部電源方式		流電陽極方式	
面状陽極	チタン溶射方式	面状陽極	亜鉛シート方式
線状陽極	リボンメッシュ方式 ＴＣユニット方式		
（点状陽極）	（チタンロッド方式）		

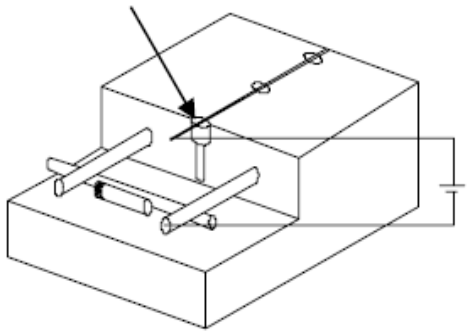
面状陽極



線状陽極



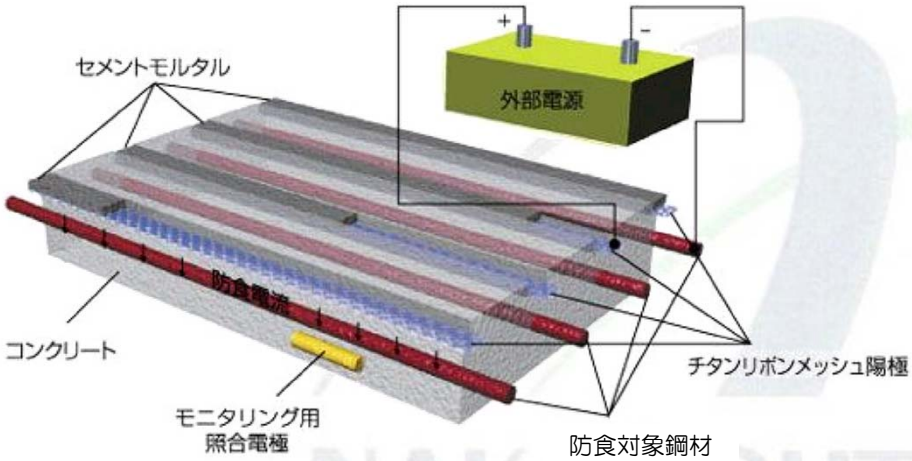
点状陽極



Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

リボンメッシュ方式（外部電源方式）

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。



※CP工法研究会ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞより抜粋（一部修正）

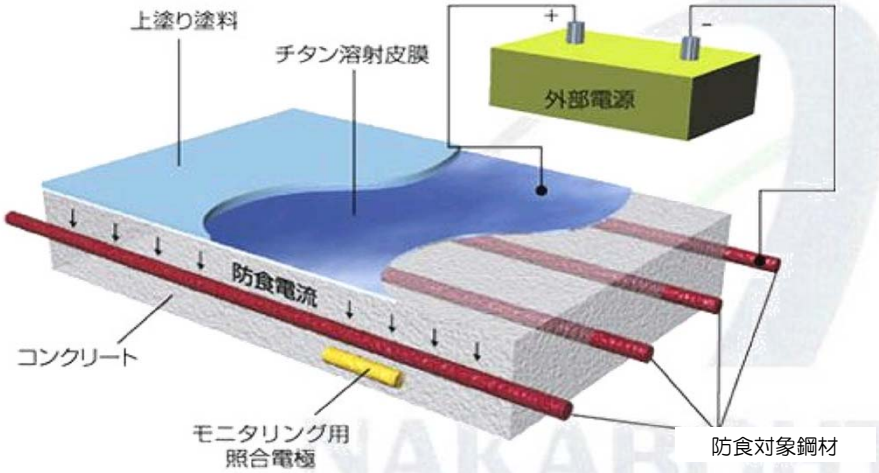
＜特徴＞

- 直流電源装置を必要とする
- 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
- メンテナンスに電流調整等を要する

Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

チタン溶射方式（外電電源方式）

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0.1㎜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。



※CP工法研究会ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞより抜粋（一部修正）

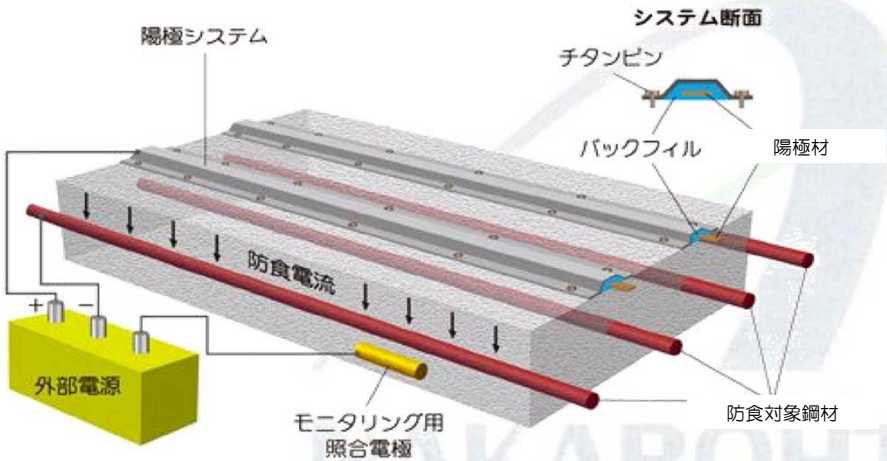
＜特徴＞

- 直流電源装置を必要とする
- 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
- メンテナンスに電流調整等を要する

Copyright（C）NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

TCユニット方式（外部電源方式）

白金系酸化物被覆を施したチタン製ラス材電極を、イオン電導性に優れる充填材に包み込み、ＦＲＰ製の保護カバーに納めコンクリート表面に設置し、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。



※CP工法研究会ホームページより抜粋（一部修正）

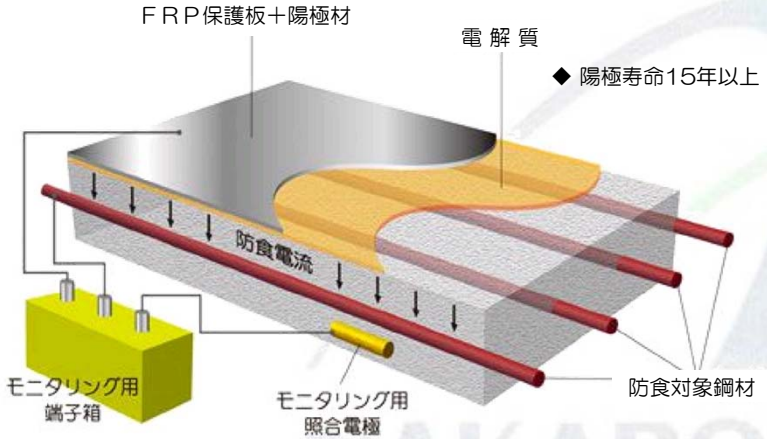
＜特徴＞

- 直流電源装置を必要とする
- 溝切削等の作業がない
- 鉄筋かぶりが小さくても可能
- ユニット化による省力施工
- メンテナンスに電流調整等を要する

Copyright（C）NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

亜鉛シート方式（流電陽極方式）

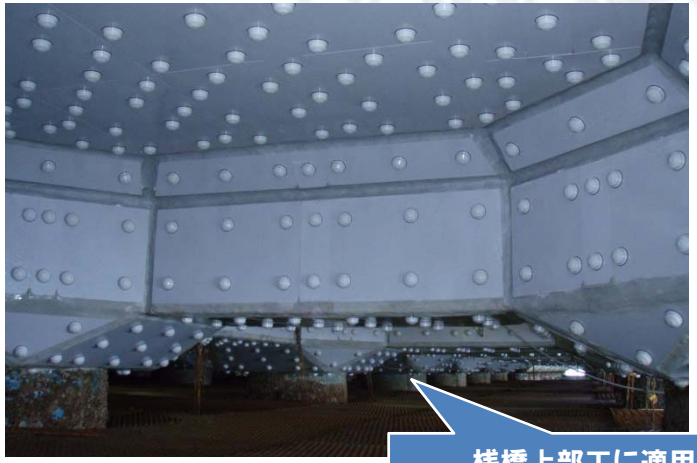
亜鉛合金を陽極材として防食対象鋼材（鉄筋）との金属固有の電位差によって防食電流を供給する方式。犠牲陽極方式とも呼ばれており、直流電源装置を必要としないため電気代も不要である。



※CP工法研究会ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞより抜粋（一部修正）

＜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**
- **死荷重の増加がある**



桟橋上部工に適用

Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

コンクリート劣化度調査（桟橋上部工）

外観目視

小型ボートで桟橋の中に入り、上部コンクリートの外観目視点検を行います。また劣化状態や保有性能について劣化度判定を行います。

打音調査

かぶりコンクリートの浮きや剥離は目視調査で確認しにくいため、点検ハンマーで打音検査を行います。

Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

コンクリート劣化度調査（桟橋上部工）

はつり調査

コンクリートの一部をはつり取り、かぶり深さ、中性化深さ、鉄筋の種類、径、腐食状況等を直接的に目視で観察を行います。
また自然電位や分極抵抗測定を行う際の排流;としても利用します。

コア採取

鉄筋探査を行い、鉄筋を避けた位置においてコア採取を行います。
採取コアより塩化物イオン量や圧縮強度、静弾性係数などの指標とします。

Copyright（C） NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

コンクリート劣化度調査（桟橋上部工）

鉄筋探査

電気化学的測定

コンクリート中の鉄筋腐食に対する非破壊試験は、腐食が電気化学的反応であることを利用した方法です。主な測定項目として自然電位や分極抵抗、コンクリート抵抗測定があります。鉄筋の腐食傾向や腐食速度関する情報を得ることができます。

自然電位Ecorr (mV)	鋼材腐食の可能性
−200＜Ecorr	90％以上の確立で腐食なし
−350＜Ecorr≦−200	不確定
Ecorr≦−350	90％以上の確立で腐食有り

銅／硫酸銅照合電極基準（CSE）

Copyright（C）NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.

維持管理

外部電源方式の維持管理

装置	項目	内容	点検の種類			判断基準
			日常	定期	詳細	
直流電源装置	外観	塗装、損傷、発錆の有無を確認する	○	○	○	塗装のはがれがなく、損傷、腐食が進行していないこと
		扉の開閉、施錠を確認する		○	○	スムーズな開閉が行え、施錠されていること
		端子の損傷、腐食を調べる			○	損傷、腐食が進行していないこと
		電流計、電圧計を確認する		○	○	電流計、電圧計が作動していること
		表示灯の点灯を確認する	○	○	○	表示灯が点灯し稼動していること
	計測	通電電流量を確認する		○	○	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		○	○	安定していること 異常値を示していないこと
	モニタリング装置	電位値を確認する		○	○	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		○	○	所定の電位変化量（100mV以上）が得られること
陽極システム	外観	コンクリートのひび割れ、錆汁の有無を確認する		○	○	腐食を伴うひび割れ、錆汁がないこと
		陽極システムの変状の有無を確認する			○	陽極材、被覆材に大きなひび割れ等の変状がないこと
	計測	陽極と鉄筋間の短絡を調べる			○	短絡していないこと
		陽極電位を調べる			○	安定していること
配管	外観	配管の損傷の有無を調べる	○	○	○	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	○	○	○	損傷や劣化がないこと

流電陽極方式の維持管理

装置名	項目	内容	点検の種類			判断基準
			日常	定期	詳細	
モニタリング装置	外観	ボックスの損傷、腐食を調べる	○	○	○	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		○	○	損傷、腐食が進行していないこと
	計測	電位変化量を確認する※		○	○	所定の電位変化量（100mV）が得られること
		電位値を確認する※		○	○	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※		○	○	安定していること 異常値を示していないこと
陽極システム	外観	陽極システムの変状有無を確認する	○	○	○	パネル、固定金具等の脱落、劣化等がないこと
		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		○	○	腐食を伴うひび割れ、錆汁がないこと
	計測	陽極と鉄筋間の短絡有無を調べる※			○	短絡していないこと
		陽極電位を調べる			○	安定していること
配管	外観	配管の損傷の有無を調べる	○	○	○	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	○	○	○	損傷や劣化がないこと

Copyright（C）NAKABOHTEC 2015 All Rights Reserved.