

コンクリート構造物補修工（電気防食工法）
「工法比較表」ユーザーマニュアル

企画部 施工企画課
九州技術事務所

はじめに	.....P.2
「電気防食工法」工法比較表の対象技術の抽出	.....P.3
コンクリート構造物補修工法の分類(案)	.....P.4
工法比較表活用フロー図	.....P.5
電気防食工法 九州フィールド対象NETIS技術等選定一覧	.....P.6
「工法比較表」の検索[検索条件イメージ](一次選定サポート用)	.....P.7
「工法比較表」の結果[出力結果のイメージ](詳細版)	.....P.8
「工法比較表」の構成	.....P.9
「工法比較表」各項目の説明(1/6)[NETIS情報]	.....P.10
「工法比較表」各項目の説明(2/6)[NETIS情報]	.....P.11
「工法比較表」各項目の説明(3/6)[評価情報]	.....P.12
「工法比較表」各項目の説明(4/6)[補完資料等からの情報]	.....P.13
「工法比較表」各項目の説明(5/6)[補完資料等からの情報]	.....P.14
「工法比較表」各項目の説明(6/6)[総括]	.....P.15
「工法比較表」の結果[出力結果のイメージ](簡易版)	.....P.16
参考資料	.....P.17
改訂履歴	.....P.36

はじめに

新技術を活用する際、設計段階において工法比較検討を行い、採用する技術を選定する際に下記の課題を有する。

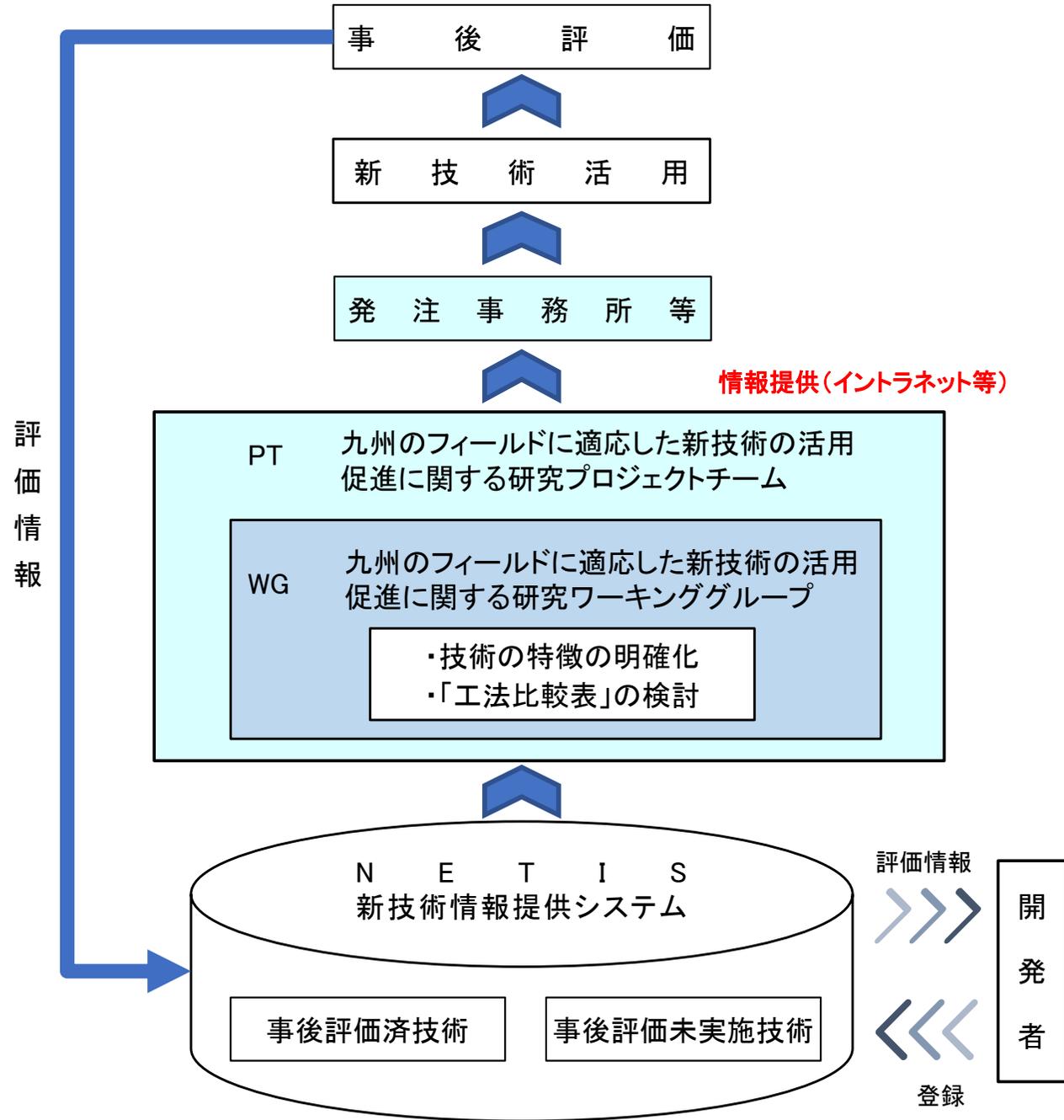
- ①特定の工法・工種において、複数の類似技術が登録されており、従来工法が統一されていないため、特徴(長所、短所)がわかりにくい(特に未活用・未評価技術において)等が原因で現場での活用が進んでいない。
- ②事後評価済み技術においても、全国で作成された「活用効果調査表」により評価されているため、九州地方への技術の適応性を検討するには必ずしも十分な情報となっていない。

以上を解決するため、NETISの申請者に対し従来工法を統一した補完調査(アンケート方式)を行い、新たな技術情報を付加した「工法比較表」を作成し、工事発注事務所へ情報提供を行うこととした。

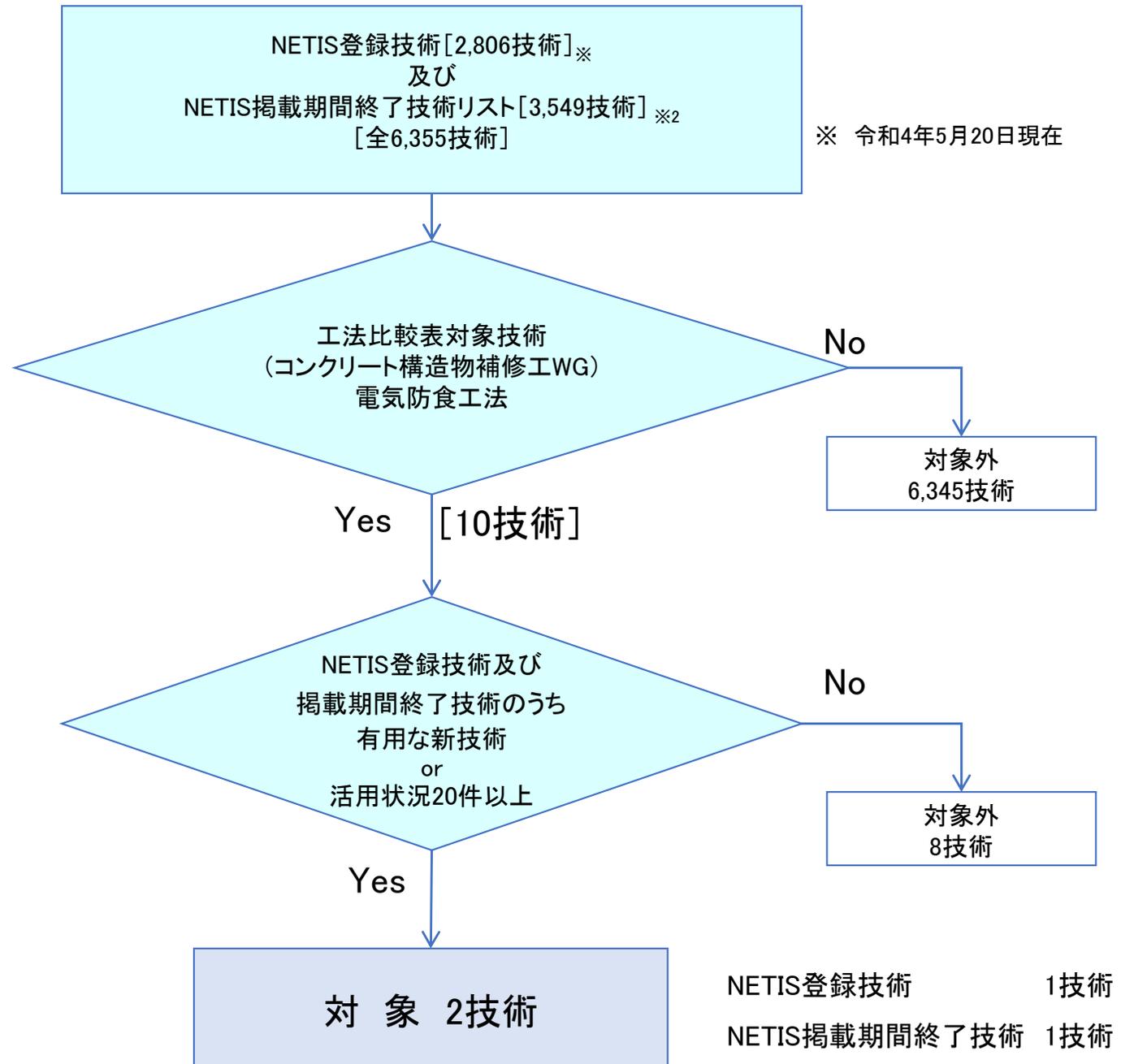


現場で活用する新技術の選定、九州地方への適応性の検討が容易となり、今後、より一層『発注者指定型』の活用促進が図られることとなる。

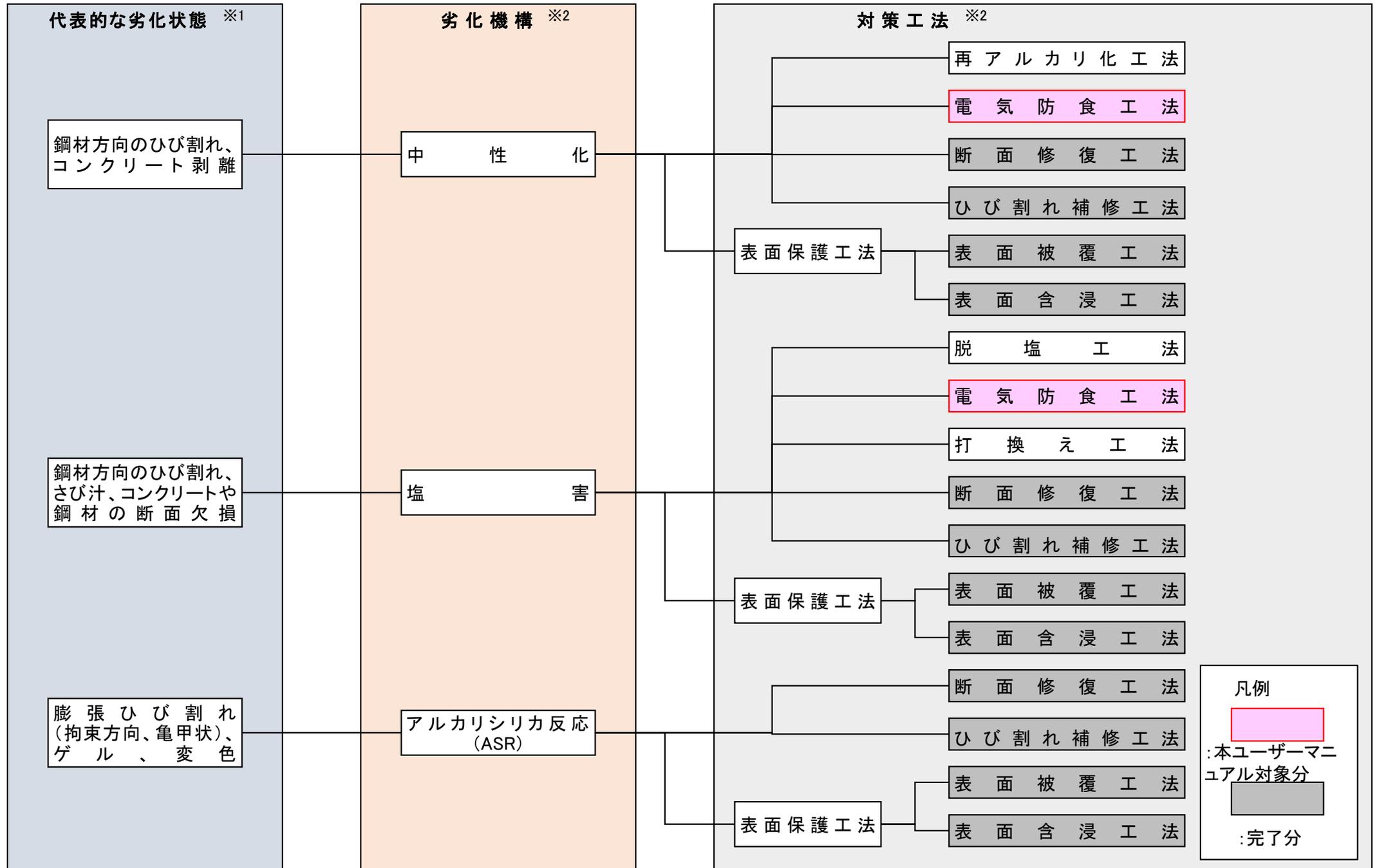
※本取り組みにおいては専門分野毎に産学官(コンサルタント、学識者、整備局)により構成されたWG(ワーキンググループ)を設置し、新たな技術情報の検討(追加する情報の内容、アンケート調査結果の確認、総括的な整理等)を行っている。



「電気防食工法」工法比較表の対象技術の抽出



コンクリート構造物補修工法の分類(案)



(参考) ※1コンクリート標準示方書 維持管理編、p.56 ※2コンクリート構造物維持管理技術研究会:橋梁コンクリート部材の点検・補修設計・施工の手引(案)、p.100、土木学会:電気化学的防食工法設計施工指針(案)、p.15を参考に作成

工法比較表データベースは、一次選定をサポートするツールです。工法の条件検索の機能があり、技術毎の施工費、施工日数及び各種試験データ等を調査し、工法選定に必要な情報を補完しています。

① 検索条件の設定
①現場の仕様、要件：電源の確保、適用部位他

⇓

② 『工法比較表検索条件入力シート<一次選定サポート用>』 に該当する条件を選択

工法比較表DBにて
該当条件抽出
(一次選定サポート)



③ 工法比較表出力結果を検討
(現場毎の要件の重み付けやその他の要素を考慮した比較表を作成)
<重み付けの例>

- ① 基準類の規格値に対する効果の度合
- ② 施工実績 [例)国土交通省における施工実績(活用実績)、九州での施工実績他]
- ③ 技術特性 [例)耐用年数、施工性他]
- ④ 経済性

等

設計業務にて
工法選定
(二次選定)

④ 最終的な工法を選定

「工法比較表」の検索[検索条件イメージ](一次選定サポート用)

設定した現場条件にて、工法比較表データベースの検索条件入力シート「キーワード」をチェックし、現場の条件に適応した効果的な検索が可能です。

【調査するキーワード】
▶電気防食工法の種類

借用同意書 ver. 2.38 更新履歴

コンクリート構造物補修工(電気防食工法) 工法比較表検索条件入力シート(一次選定サポート用)

本システムは、毎月NETIS情報を確認し、追加があれば更新していきますので、最新版を入手してお使いください。 令和4年1月現在

電気防食工法の種類

複数選択可 ※チェックを入れた場合、チェック項目(1つでも)に該当する技術を検索します

		陽極システムの形状		
		面上陽極	線状陽極	点状陽極
電源方式	外部電源	-	-	-
	流電陽極	-	<input checked="" type="checkbox"/> 線状流電陽極方式電気防食工法	<input checked="" type="checkbox"/> 犠牲陽極材「ガルバシールド工法」

検索結果: 全2技術2仕様の内、2技術2仕様が検索されました。

【簡易版】検索結果を表示【詳細版】検索結果を表示



現場条件に適応したキーワードに
チェックマーク

【キーワード抽出事例】
▶電気防食工法の種類:
線状流電陽極方式電気防食工法犠牲
陽極材「ガルバシールド工法」

「工法比較表」の構成

工法比較表の構成は、上段はNETIS情報、評価情報、中段は補完情報、下段はワーキンググループからのコメント(総括)である。新規登録技術は、毎月申請情報を追加、補完情報は年1回更新している。

技術名		線状流電極板方式電気防食工法 (事後評価未実施技術)	
①~⑤		① 4桁5桁登録番号 ② 技術の産業付加 (実用な新技術) ③ 開発者 (本力が強化される新技術) ④ 開発者として九州・九州地方の企業 (九州産学連携) ⑤、九州産学連携九州本部 ⑥、九州に実用化企業あり ⑦、その他 ⑧ ⑨ 九州地方への効果 (九州産学連携) ⑩、九州に実用化企業あり ⑪、その他 ⑫ ⑬ (九州地方に実用化する)	
⑥~⑧		⑭ 技術概要 ⑮ 課題 ⑯ 適用対象 ⑰ 適用対象 ⑱ 適用対象 ⑲ 適用対象 ⑳ 適用対象 ㉑ 適用対象 ㉒ 適用対象 ㉓ 適用対象 ㉔ 適用対象 ㉕ 適用対象 ㉖ 適用対象 ㉗ 適用対象 ㉘ 適用対象 ㉙ 適用対象 ㉚ 適用対象 ㉛ 適用対象 ㉜ 適用対象 ㉝ 適用対象 ㉞ 適用対象 ㉟ 適用対象 ㊱ 適用対象 ㊲ 適用対象 ㊳ 適用対象 ㊴ 適用対象 ㊵ 適用対象 ㊶ 適用対象 ㊷ 適用対象 ㊸ 適用対象 ㊹ 適用対象 ㊺ 適用対象 ㊻ 適用対象 ㊼ 適用対象 ㊽ 適用対象 ㊾ 適用対象 ㊿ 適用対象	
⑨~⑩		㊿ 比較する従来技術 ① 従来技術 ② 従来技術 ③ 従来技術 ④ 従来技術 ⑤ 従来技術 ⑥ 従来技術 ⑦ 従来技術 ⑧ 従来技術 ⑨ 従来技術 ⑩ 従来技術 ⑪ 従来技術 ⑫ 従来技術 ⑬ 従来技術 ⑭ 従来技術 ⑮ 従来技術 ⑯ 従来技術 ⑰ 従来技術 ⑱ 従来技術 ⑲ 従来技術 ⑳ 従来技術 ㉑ 従来技術 ㉒ 従来技術 ㉓ 従来技術 ㉔ 従来技術 ㉕ 従来技術 ㉖ 従来技術 ㉗ 従来技術 ㉘ 従来技術 ㉙ 従来技術 ㉚ 従来技術 ㉛ 従来技術 ㉜ 従来技術 ㉝ 従来技術 ㉞ 従来技術 ㉟ 従来技術 ㊱ 従来技術 ㊲ 従来技術 ㊳ 従来技術 ㊴ 従来技術 ㊵ 従来技術 ㊶ 従来技術 ㊷ 従来技術 ㊸ 従来技術 ㊹ 従来技術 ㊺ 従来技術 ㊻ 従来技術 ㊼ 従来技術 ㊽ 従来技術 ㊾ 従来技術 ㊿ 従来技術	
⑪~⑲		㊿ 従来技術 ① 従来技術 ② 従来技術 ③ 従来技術 ④ 従来技術 ⑤ 従来技術 ⑥ 従来技術 ⑦ 従来技術 ⑧ 従来技術 ⑨ 従来技術 ⑩ 従来技術 ⑪ 従来技術 ⑫ 従来技術 ⑬ 従来技術 ⑭ 従来技術 ⑮ 従来技術 ⑯ 従来技術 ⑰ 従来技術 ⑱ 従来技術 ⑲ 従来技術 ㉑ 従来技術 ㉒ 従来技術 ㉓ 従来技術 ㉔ 従来技術 ㉕ 従来技術 ㉖ 従来技術 ㉗ 従来技術 ㉘ 従来技術 ㉙ 従来技術 ㉚ 従来技術 ㉛ 従来技術 ㉜ 従来技術 ㉝ 従来技術 ㉞ 従来技術 ㉟ 従来技術 ㊱ 従来技術 ㊲ 従来技術 ㊳ 従来技術 ㊴ 従来技術 ㊵ 従来技術 ㊶ 従来技術 ㊷ 従来技術 ㊸ 従来技術 ㊹ 従来技術 ㊺ 従来技術 ㊻ 従来技術 ㊼ 従来技術 ㊽ 従来技術 ㊾ 従来技術 ㊿ 従来技術	
⑳~㉔		㊿ 従来技術 ① 従来技術 ② 従来技術 ③ 従来技術 ④ 従来技術 ⑤ 従来技術 ⑥ 従来技術 ⑦ 従来技術 ⑧ 従来技術 ⑨ 従来技術 ⑩ 従来技術 ⑪ 従来技術 ⑫ 従来技術 ⑬ 従来技術 ⑭ 従来技術 ⑮ 従来技術 ⑯ 従来技術 ⑰ 従来技術 ⑱ 従来技術 ⑲ 従来技術 ㉑ 従来技術 ㉒ 従来技術 ㉓ 従来技術 ㉔ 従来技術 ㉕ 従来技術 ㉖ 従来技術 ㉗ 従来技術 ㉘ 従来技術 ㉙ 従来技術 ㉚ 従来技術 ㉛ 従来技術 ㉜ 従来技術 ㉝ 従来技術 ㉞ 従来技術 ㉟ 従来技術 ㊱ 従来技術 ㊲ 従来技術 ㊳ 従来技術 ㊴ 従来技術 ㊵ 従来技術 ㊶ 従来技術 ㊷ 従来技術 ㊸ 従来技術 ㊹ 従来技術 ㊺ 従来技術 ㊻ 従来技術 ㊼ 従来技術 ㊽ 従来技術 ㊾ 従来技術 ㊿ 従来技術	

背景色の凡例

- : 有用な新技術
- : 事後評価済み技術
- : NETIS掲載期間終了技術
- : 九州の技術(事後評価未実施技術)
- : 事後評価未実施技術

NETIS申請情報・評価情報

補完情報
(従来工法を統一、
開発者に任意に問い合わせた情報等)

ワーキンググループからのコメント
(技術の特徴等について)

■ NETIS申請情報

NETISの申請情報から必要な情報(技術名、登録番号、有用な技術等)を抜粋したもので、補完調査で得た情報も追記しています。

技術の定義

- ・事後評価済技術: 情報種別がVR、VE
- ・有用な新技術: 有用な新技術に該当する技術(期限切れを除く)
- ・事後評価未実施技術: 情報種別がA(事前審査)
- ・九州の技術: 情報種別がA、登録が九州地方整備局、本社が九州地方
- ・記載なし: NETIS掲載期間終了技術

技	術	名	〇〇〇〇工法 (有用な新技術)
①	N E T I S	登 録 番 号	QS-210300-VE
②	有 用 な 技 術 の 位 置 付 け		活用促進技術(2021.3.26~)
③	開 発 者 (本 社 が 存 在 す る 都 道 府 県)		〇〇〇〇協会 (福岡県)
④	開発者における九州地方との関連性 (九州登録九州本社: ◎、九州外登録九州本社: ○、九州に共同開発者有り: △、その他: -)		◎
⑤	九州地方への機能性 (九州地方に支店等を有する場合: ○、その他: -)		-

① NETIS登録番号: NETIS登録番号 または NETIS掲載期間終了技術

② 有用な技術の位置付け:
 推奨技術、準推奨技術、評価促進技術、活用促進技術、
 旧実施要領における設計比較対象技術、少実績優良技術

③ 開発者(本社が存在する都道府県):
 開発者と本社が存在する都道府県を記載している。

④ 開発者における九州地方との関連性:
 ◎...登録が九州地方整備局で本社が九州地方の場合
 ○...登録が九州地方整備局以外、本社が九州地方の場合
 △...登録の共同開発者が九州地方の場合
 -...その他の場合

⑤ 九州地方への機能性:
 ○...九州地方に支店有り
 -...その他の場合

NETIS登録番号

例: QS - 200300 - VE
 1) 2) 3)

1) 登録地整:
 QS:九州地整 SK:四国地整 CG:中国地整
 KK:近畿地整 CB:中部地整 KT:関東地整
 HR:北陸地整 TH:東北地整 HK:北海道開発局
 OK:沖縄総合事務局
 ※「港湾NETIS」の登録技術は3桁目に「K」がついています。

2) 番号の意味:
 左から2桁の番号:登録年度(例:20は2020年度登録)
 左から3番目から4桁の番号:登録年度の登録順番(例:0300)

3) 情報種別:
 A :申請情報のみ掲載されている技術
 VR:活用効果評価を実施した技術で継続調査等の対象となった技術
 VE:活用効果評価を実施した技術で継続調査等の対象としない技術
 VG:掲載期間が終了した技術

■NETIS申請情報

NETISの申請情報から必要な情報(技術概要、施工情報、適用条件等)を抜粋したもので、補完調査で得た情報も追記しています。

⑥ 技術概要	<p>本技術は、コンクリート中の鋼材腐食に対し、線状の流電陽極ユニットを用いて防食する電気防食工法であり、従来は亜鉛シート方式電気防食工法(面状流電陽極方式)に対応していた。本技術の活用により、躯体の変状を目視観察可能となり、安全性の向上が図れた。</p>																	
⑦ 概要図	 <p>①試験施工: 湾曲面及び底面設置状況 ②試験施工: 海面面設置状況 線状流電陽極方式概要図</p>																	
⑧ 施工条件・適用条件等	<table border="1"> <tr> <td>種類</td> <td>電気防食工法(流電陽極方式、線状陽極方式)</td> </tr> <tr> <td>適用対象</td> <td>RC構造物、PC構造物</td> </tr> <tr> <td>陽極設置方法</td> <td>NAKAROD陽極(流電陽極材と電解質層をFRP製トラフで覆った陽極ユニット)をビスを用いて設置</td> </tr> <tr> <td>適用気温</td> <td>【5℃~】</td> </tr> <tr> <td>適用部位</td> <td>没水部、湾曲面以外の大気中部【飛沫帯部、干満帯部については適用を目指して性能検証中】</td> </tr> <tr> <td>設置面積</td> <td>【材料寸法: 幅100mm×延長1000mm】</td> </tr> <tr> <td>現場条件</td> <td>陽極ユニットの設置作業ができる1m×0.5m=0.5㎡程度の作業スペースが必要</td> </tr> <tr> <td>維持管理</td> <td>設置から3年程度は年に1回の点検を行い、その後は5年に一度、橋梁点検要領に従って点検を行う【定期点検: 初年度2回/年、初年度以降1回/年 詳細点検: 1回/5年】</td> </tr> </table>	種類	電気防食工法(流電陽極方式、線状陽極方式)	適用対象	RC構造物、PC構造物	陽極設置方法	NAKAROD陽極(流電陽極材と電解質層をFRP製トラフで覆った陽極ユニット)をビスを用いて設置	適用気温	【5℃~】	適用部位	没水部、湾曲面以外の大気中部【飛沫帯部、干満帯部については適用を目指して性能検証中】	設置面積	【材料寸法: 幅100mm×延長1000mm】	現場条件	陽極ユニットの設置作業ができる1m×0.5m=0.5㎡程度の作業スペースが必要	維持管理	設置から3年程度は年に1回の点検を行い、その後は5年に一度、橋梁点検要領に従って点検を行う【定期点検: 初年度2回/年、初年度以降1回/年 詳細点検: 1回/5年】	
種類	電気防食工法(流電陽極方式、線状陽極方式)																	
適用対象	RC構造物、PC構造物																	
陽極設置方法	NAKAROD陽極(流電陽極材と電解質層をFRP製トラフで覆った陽極ユニット)をビスを用いて設置																	
適用気温	【5℃~】																	
適用部位	没水部、湾曲面以外の大気中部【飛沫帯部、干満帯部については適用を目指して性能検証中】																	
設置面積	【材料寸法: 幅100mm×延長1000mm】																	
現場条件	陽極ユニットの設置作業ができる1m×0.5m=0.5㎡程度の作業スペースが必要																	
維持管理	設置から3年程度は年に1回の点検を行い、その後は5年に一度、橋梁点検要領に従って点検を行う【定期点検: 初年度2回/年、初年度以降1回/年 詳細点検: 1回/5年】																	

⑥:技術の特徴を簡潔に概説

⑦:技術の概要を示す図表を掲載

⑧:主にNETIS情報より抜粋

補完情報…必要に応じて【 】を付けて追記(任意に問い合わせた情報等)

NETIS情報を修正…【 】内に加えて「NETIS情報を修正:~」を追記

■NETIS評価情報

新技術を活用後に提出される調査表を基に行う事後評価の結果を記載しています。

評価情報	⑨	比較する従来技術	断面修復工法(亜硝酸リチウム40%濃度混入)		
	⑩	評価基準	項目	最新の活用効果評価結果, 所見	
		経済性	C:-		
		工程	D:留意事項:補修箇所の鉄筋の状態の把握が、研り作業を終えなければ掴めないため、その対策に時間を要したという理由で劣る。		
		品質・出来形	B:所見:安定した電気化学的反応が期待でき、腐食抑制に期待できる。		
		安全性	C:-		
		施工性	C:-		
		環境	C:-		
		総合評価	C:-		

⑨NETIS情報で記載されている「比較する従来技術」を記載

⑩NETIS情報における「⑨比較する従来技術」との比較を記載

・最新活用効果評価結果,所見を記載

※評価情報における評価、コメントはNETIS情報における「比較する従来技術」と比較したものであり、工法比較表⑩以降での統一した従来技術(比較する仕様)と相違する場合があります

■補完情報

統一した従来技術に基づいた補完調査による概算施工費用・概算施工日数や各種試験結果、現場条件への適応性を取りまとめたものです。※補完情報の項目については、全ての工種で統一されるものではなく、工種毎に必要な項目が異なるため、取りまとめ内容は異なります。

- ⑪⑫ 従来技術：標準積算基準より算出
- 新技術：統一した土質条件での見積による概算施工費用・施工日数を記載
- ※概算のため現場条件によって再確認が必要
- ※施工費用と施工日数は同一条件で比較し、新技術で不要となる工程等を留意事項として記載

⑭統一した従来技術との6項目比較評価を記載
 ※⑩評価情報の内容と異なる場合有り

- 統一した従来技術との概算施工費用・施工日数を記載
- 概算であり、現場条件によって再確認が必要
- 施工費用と施工日数は同一条件で比較し、新技術で不要となる工程等を留意事項として記載

従来技術

新技術

統一した従来技術		電気防食工法（流電陽極方式、線状陽極方式）（経済性、工程は比較対象としない）	
		従来技術	新技術
⑪ 概算施工費用 注1)	施工費	-	17,900円/m2
	材料費	-	113,900円/m2
	合計	-	131,800円/m2
	備考	-	※開発者の回答は「照合電極・端子類設置工、陽極設置工、モニタリングボックス設置工」の合計である。
⑫ 概算施工日数	-	0.180日/m2	
⑬ 施工規模	-	100m2	
⑭ 統一した従来技術との比較	経済性	-	-
	工程	-	-
	品質・出来形	△：従来技術と同程度	
	安全性	△：従来技術と同程度	
	施工性	○：陽極のユニット化により施工性が向上	
	環境	△：従来技術と同程度	
⑭ 判定の凡例			
○：従来技術より優れる			
△：従来技術と同程度			
-：上記以外			

⑮陽極システムの性能:各開発者による、適用基準、試験結果を記載している。

要求性能		実施された試験	基準・比較対象	試験結果
⑮ 陽極システムの性能	耐久性能	同一の材料を使用している亜鉛シート方式の耐久性評価 (自社試験)	自社基準:陽極の設計耐用年数15年 電解質層の比抵抗 100Ω・cm以下 FRP材の引張強度 80MPa以上 FRP材の曲げ強度 100MPa以上	施工後17年 電解質層の比抵抗 38.2Ω・cm FRP材の引張強度 平均142.7MPa FRP材の曲げ強度 平均264.6MPa
	防食性能	加速試験によるNAKAROD方式電気防食工法の耐久性試験 (自社試験)	設計耐用年数30年(陽極質量減少率50%) 積算電流量65.7Ah 電流密度25mA/m ² ×0.01m ² ×30年相当	積算電流量66.36Ahこのとき陽極質量減少率13.3%であった。
	その他の試験	実構造物に対する試験施工(自社試験)	コンクリートライブラリー107 復極量100mV以上	点検時に復極量100mV以上を確認。
	その他の試験	-	-	-
⑯ 実施している性能評価試験	-			
⑰ 耐用年数	陽極耐久性試験の試験結果30年(平成30年度時点で実績4年)			
⑱ 施工実績 (過去3年)	国土交通省:活用効果調査表数	0件(九州で0件)		
	地方自治体:開発者ヒアリング	9件(九州で0件)		
	その他:開発者ヒアリング	2件(九州で0件)		
⑲ 特許等	特許	-		
	建設技術審査証明	-		
⑳ 生産供給体制(機械保有台数等)	-			
㉑ 備考	-			

⑯実施している性能評価試験:「⑮陽極システムの性能」で実施している性能評価試験方法を記載している。

⑰耐用年数:実績による耐用年数、または試験結果による耐用年数を記述している(試験結果による耐用年数には根拠とする試験を併記する)

⑳機械の運搬費用等を積算する際の参考として、機械の保有場所、機械の保有台数等を記述

■補完情報

発注者ニーズへの適応性、総括として技術的特徴や留意事項等を取りまとめたものです。

総括	②② 耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流電陽極方式であるため、交流電源の確保が難しい場所にも適用可能。 ・ 電圧・電流調整が不要で、落雷などによる停電の影響を受けないため保安管理が容易。 ・ 部分断面修復をした箇所にマクロセル腐食防止対策として部分的に適用することが可能。 ・ 陽極形状が線状であるため、コンクリート表面の変状目視観察が可能。(補完情報より)。 ・ 防食効果確認試験において、復極量の基準値100mV以上を満足させることができています(補完情報より)。 ・ 施工後17年(設計寿命15年)の同一の材料を使用しているシート陽極の耐久性評価において、電解質層の比抵抗は基準値100Ω・cmを下回っている。またFRP材の引張強度、曲げ強度は基準値80MPa、100MPaを上回っている(補完情報より)。
	②③ 施工性 (留意事項含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 流電陽極材と電解質層をFRP製トラフで覆い、ユニット化したことにより、構成部材が減り、施工が簡略化されたため、施工性が向上し、工期を短縮できた(NETIS情報より)。
	②④ その他(留意事項含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 九州地方(国土交通省)での活用実績はない(評価情報より)。 ・ 試験結果は自社試験によるものである(補完情報より)。 ・ 維持管理については、防食期間を通して要求される防食性能を維持できるように維持管理計画を策定し、電気防食装置の維持管理を適切に行うこと(WGからのコメント)。

②②～②④ワーキンググループコメント

技術の特徴を技術の特徴抜粋して記載。総括的な情報として活用可能

本技術の試験結果の取り扱いについての試験実施機関に関する留意事項である。

- ・ 自社試験の結果の場合： 試験結果は自社試験によるものである。
- ・ 公的機関による試験結果であるが証明書等が無い場合： 試験結果は公的機関によるものであるが証明書等は提出されていない。
- ・ 民間企業への委託による場合： 試験結果は民間企業への委託によるものである。

「工法比較表」の結果[出力結果のイメージ] (簡易版)

簡易版の出力結果は、詳細版の情報を抜粋した情報が表示されます。

検索結果(簡易版)

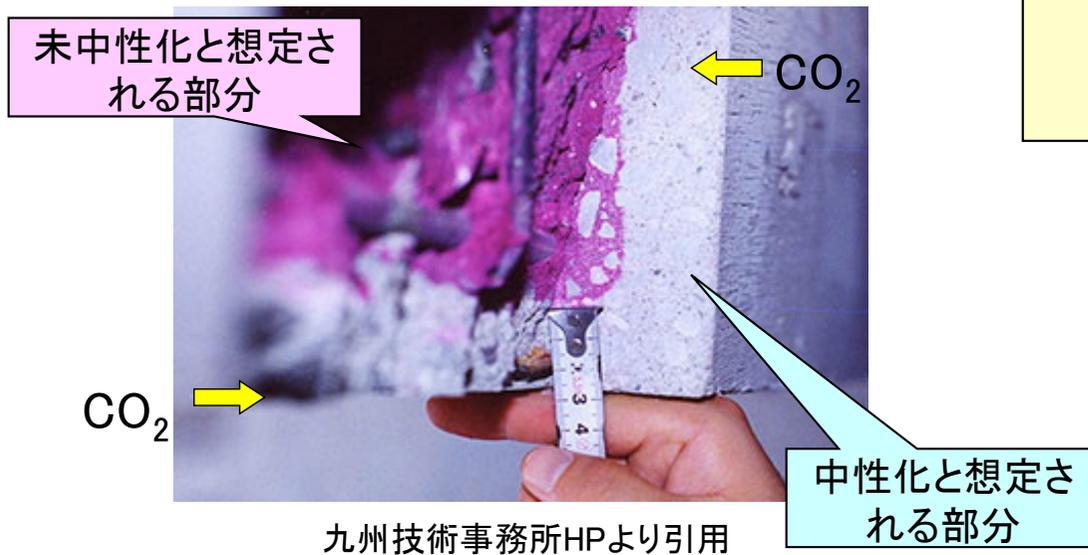
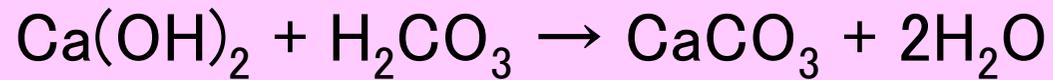
Click: 詳細版の表示が可能

番号	技術名	NETIS番号	開発者	種類	耐久性能1			耐久性能2			防食性能			対象面積(㎡)	対象面積(㎡)	統一した従来技術との比較					概要		
					実施された試験	基準・比較対象	試験結果	実施された試験	基準・比較対象	試験結果	実施された試験	基準・比較対象	試験結果			経済性	工期	品質・出来形	安全性	施工性		環境	
1	鉄筋電極方式電気防食工法(事後評価未実施技術)	NT-180059-A	株式会社カボテック(東京都)	電源方式: 流電陽極方式、陽極システムの形状: 線状陽極方式	同一の材料を使用した100D・cm以下の耐久試験(自社試験)	自社基準・陽極の設計耐用年数15年 電極質量の比較試験 100D・cm以下 FRP材の引張強度80MPa以上 FRP材の曲げ強度100MPa以上	施工後17年 電解質層の比抵抗38.2Ω・cm FRP材の引張強度平均142.7MPa FRP材の曲げ強度平均264.9MPa	加速試験によるNHAR80方式電気防食工法の耐久試験(自社試験)	設計耐用年数30年(腐蝕質量減少率50%) 線電流密度85.7Ah 電流密度25mA/m ² × 0.01m ² × 30年積算	線電流密度88.98Ahとの差陽極質量減少率13.9%であった。	家種建物に対する試験施工(自社試験)	コンクリートライブラリー107 浸透量100mm以上	点検時に浸透量100mm以上を確認。	131,000円/㎡	0.180日/㎡	-	-	△	△	○	△	本技術は、コンクリート中の鋼材腐食に対し、線状の流電陽極ユニットを用いて防食する電気防食工法であり、従来の塗料方式電気防食工法(面状流電陽極方式)で対応していた。本技術の活用により、躯体の変状を目視観察可能となり、安全性の向上が図れた。	
2	樹脂陽極材「ガルバニールド工法」	NETIS登録期間終了技術	フォスロック・インターナショナル・リミテッド(代理店: クリテイエンス株式会社)(東京都)	電源方式: 流電陽極方式、陽極システムの形状: 点状陽極方式	耐用年数	-	DASシリーズ: 最長35年	-	-	-	防食レベル	-	電気防食(進行中の腐食を止める、浸透量100mm以上)	DASシリーズ: 適用可能な性能を有する。	68,225円/㎡	0.067日/㎡	-	-	△	△	△	△	ガルバニールド工法は塩害・中性化等で劣化したコンクリート構造物の鉄筋腐食を抑制し、電気化学的作用により抑制し、レンダロックモルタルにて断面保護する工法です。

コンクリート構造物の劣化機構について	.....	P.18
コンクリート構造物の劣化機構の推定	.....	P.22
電気化学的防食工法について	.....	P.23
電気防食工法について	.....	P.24

中性化の仕組み

大気中のCO₂がコンクリート内に侵入し、Ca(OH)₂などのセメント水和物と炭酸化反応を起こすことにより細孔溶液のpHを低下させる現象
(およそpHが10を下回ると中性化と判断される傾向にある)



九州技術事務所HPより引用

中性化深さの測定試験
(フェノールフタレイン噴霧)

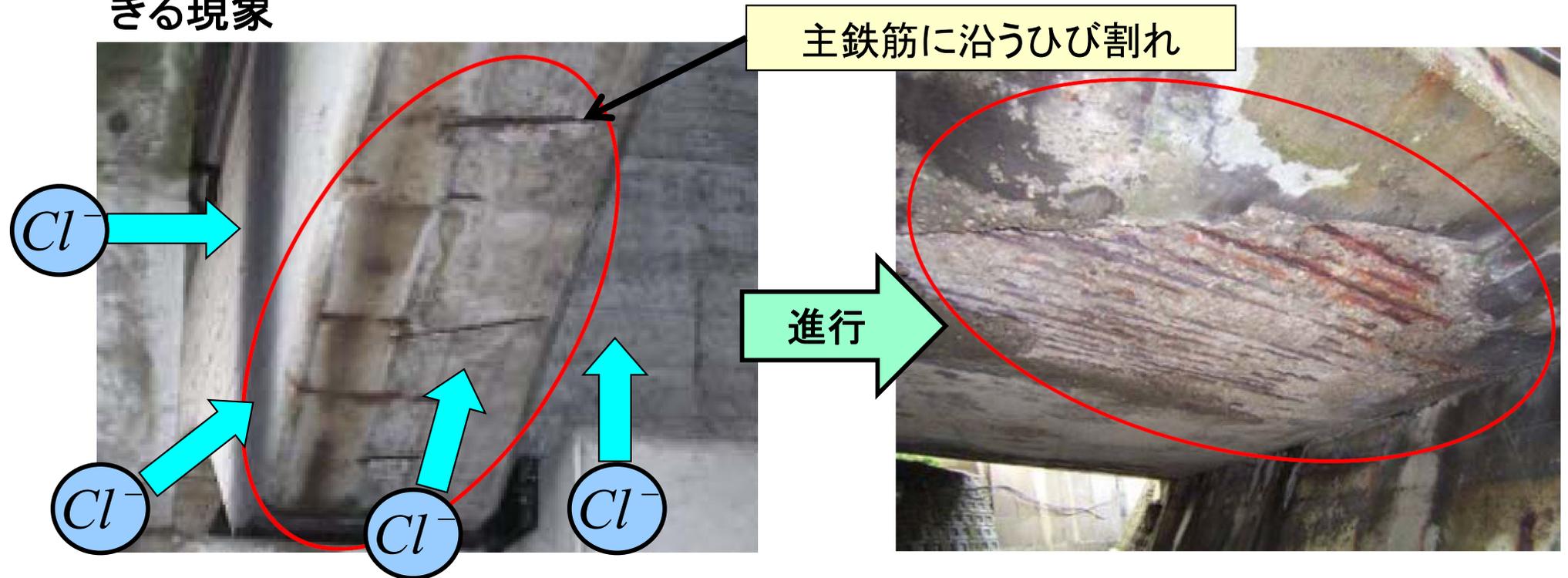


広島市農林道橋梁点検マニュアル
第3編付録3 損傷概要及び損傷事例写真集より引用

中性化の事例
(鉄筋コンクリート高欄)

塩害の仕組み

塩化物イオンの存在によりコンクリート中の鋼材の腐食が進行し、腐食生成物の体積膨張によるコンクリートのひび割れ、はく離、鋼材の断面減少が起きる現象



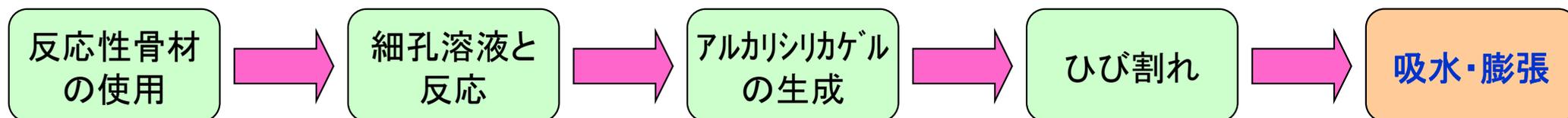
国土交通省本省HPより引用

国土交通省本省HPより引用

外部からの塩化物イオンの供給

アルカリシリカ反応の仕組み

骨材中の特定の鉱物とコンクリート中のアルカリ性細孔溶液との間の化学反応のことであり、この反応によって、コンクリート内部で局所的な体積膨張が生じ、コンクリートにひび割れを生じさせるとともに、強度低下や鋼材の破断を生じさせる現象



生成物が吸水することで膨張し、コンクリートに膨張圧が生じる

【アルカリシリカ反応の発生条件】

- ①反応性骨材
- ②高アルカリ(Na_2O 、 K_2O)
- ③水

3つの条件がなければ進行しない

水の抑制が重要



国土交通省本省HPより引用

(参考) 鉄筋腐食の仕組み

中性化や塩化物イオンの侵入だけではコンクリートそのものの劣化は殆ど起こらない

何故、ひび割れや剥離が起こるのか？

鉄筋が腐食することが問題

【鉄筋の腐食】

コンクリート : 強アルカリ (pH12~13)

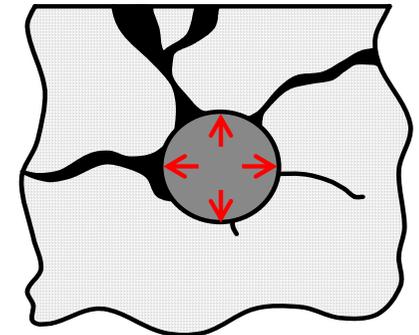
強アルカリ環境にある鉄筋は、自ら薄い酸化膜(不動態皮膜)形成 → 錆びにくい

pHの低下 ... 不動態皮膜を形成できない
塩化物イオン ... 不動態皮膜を部分的に破壊

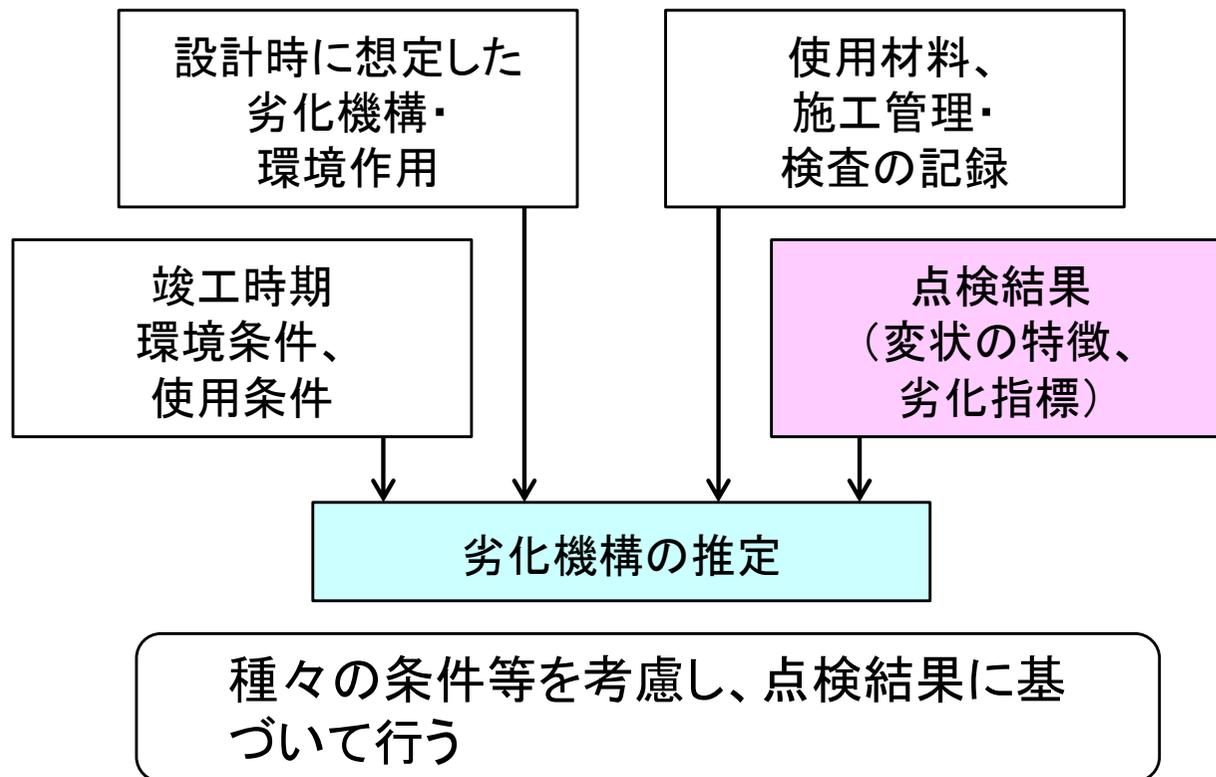
鉄筋が錆びやすい状態になる → 生成した錆 : 体積が約2.5~4倍

鉄筋の膨張圧によってコンクリートにひび割れが生じる

CO₂ や塩化物イオンの侵入の抑制が重要



劣化機構の推定の概念



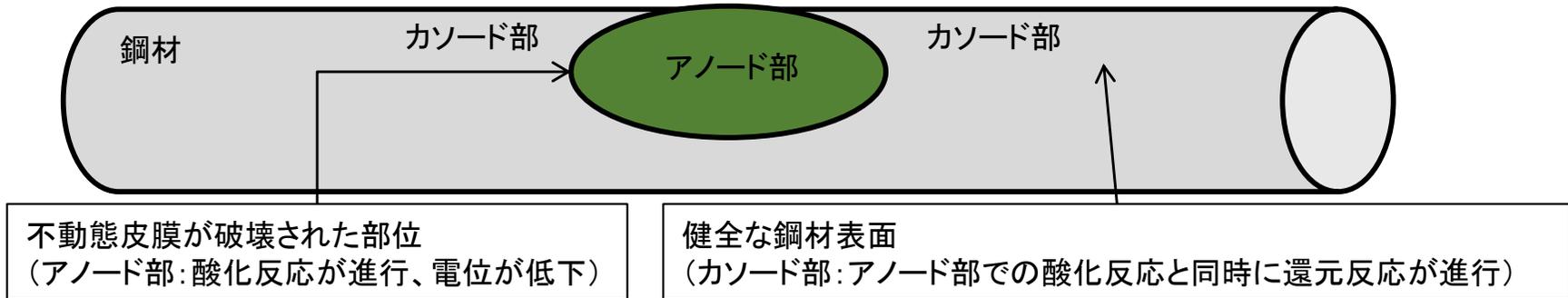
点検結果の例

ひび割れ状況	
ひび割れの発生状況	不規則
	規則的
	網状
ひび割れの発生時期	弱材齢
	ある程度以上の材齢

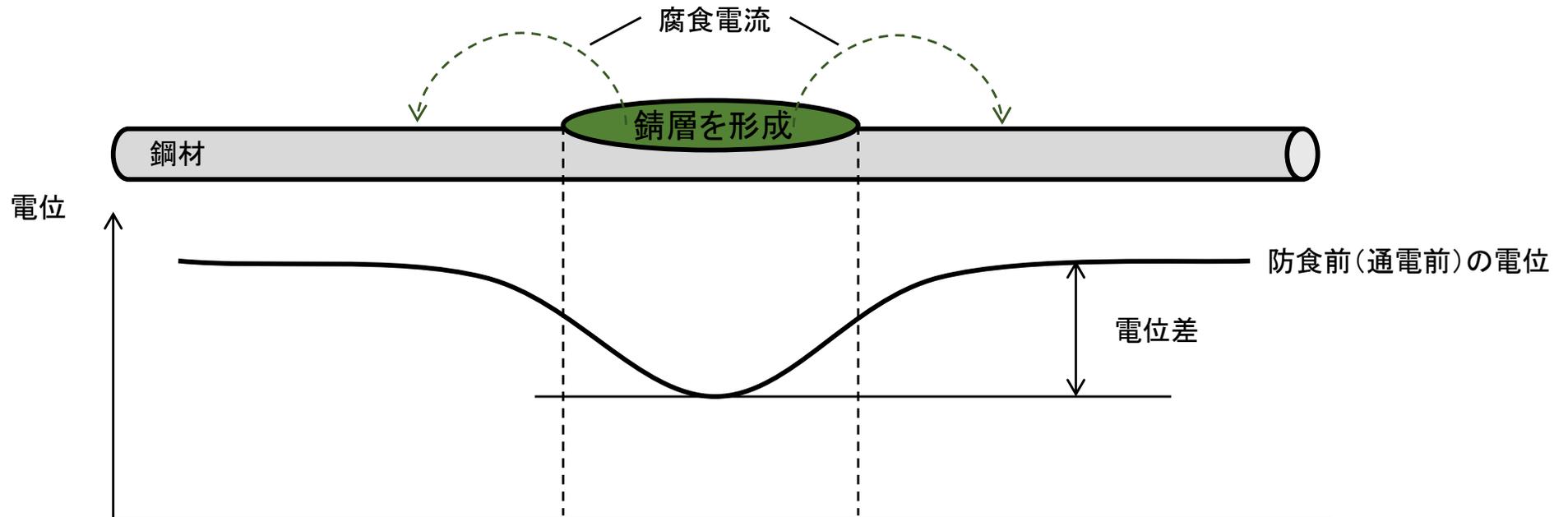
単独の劣化機構が原因となっているケースは少なく、ほとんどが幾つかの劣化機構が**複合的に作用**している

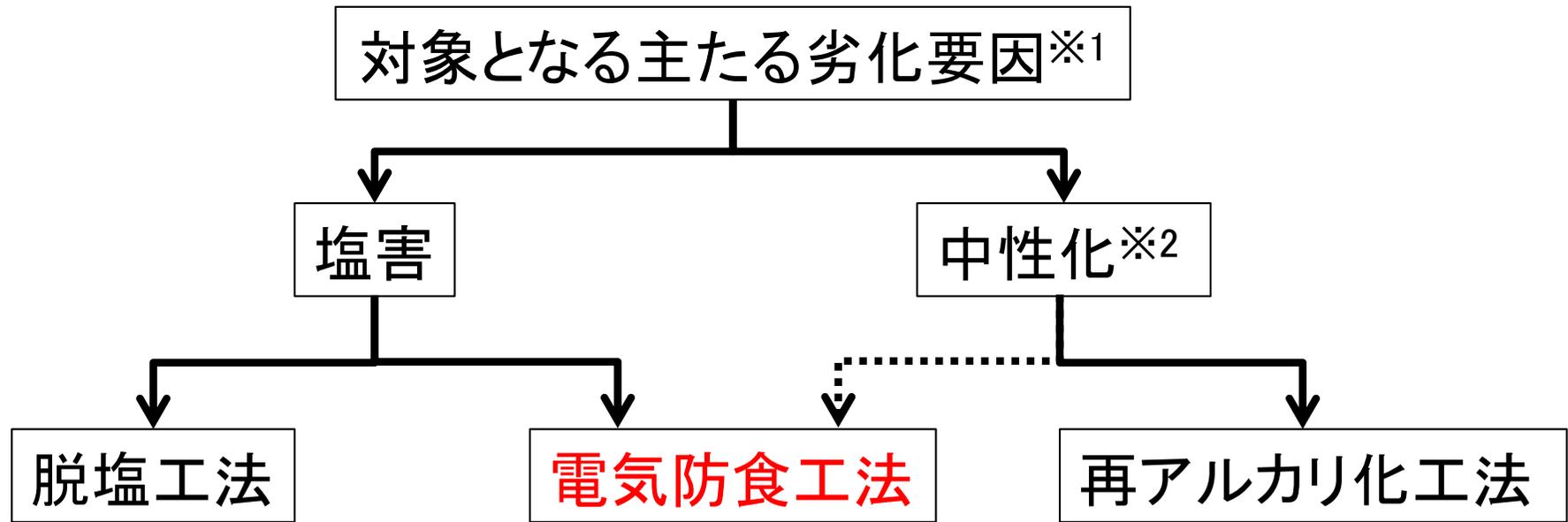
・コンクリート中の鋼材腐食反応の概要

塩化物イオンの影響、コンクリートの中酸化によるpHの低下により、不動態皮膜が破壊される。



アノード部とカソード部との電位差により、コンクリート中をアノード部からカソード部へと腐食電流が流れ、腐食反応が進行し、鋼材表面には錆層が形成され、膨張圧によってコンクリートにひび割れが生じる。





- ・脱塩工法: コンクリート中の塩化物イオンを、電気化学的反応(電気泳動)により除去若しくは低減して、鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度とすることで、鋼材表面を再不動態化させる工法。
- ・再アルカリ化工法: 中性化したコンクリート中に、電気化学的反応(電気浸透)によりアルカリ性溶液を浸透させ、本来のpH程度にまで回復させることで鋼材表面を再不動態化させる工法。

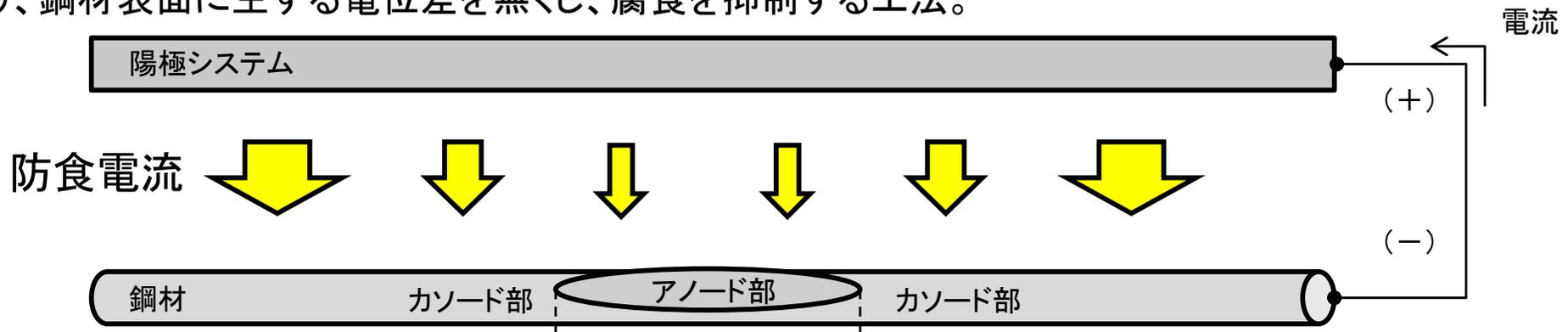
・**電気防食工法**: コンクリート中の鋼材に直接電流を継続的に流し、鋼材の電位を制御して鋼材腐食反応を電気化学的に制御する工法。鋼材に電流を流し続ける限り、劣化要因の存在、濃度に影響されず、鋼材腐食による劣化進行を抑制することができる。

※1 アルカリシリカ反応(ASR)が懸念される場合、電気化学的防食工法を適用することにより反応が助長される可能性があるため、電気化学的防食工法の適用については必要に応じて事前に骨材のアルカリシリカ反応性試験や、コアの残存膨張量の測定等を行い、総合的に判定する必要がある。

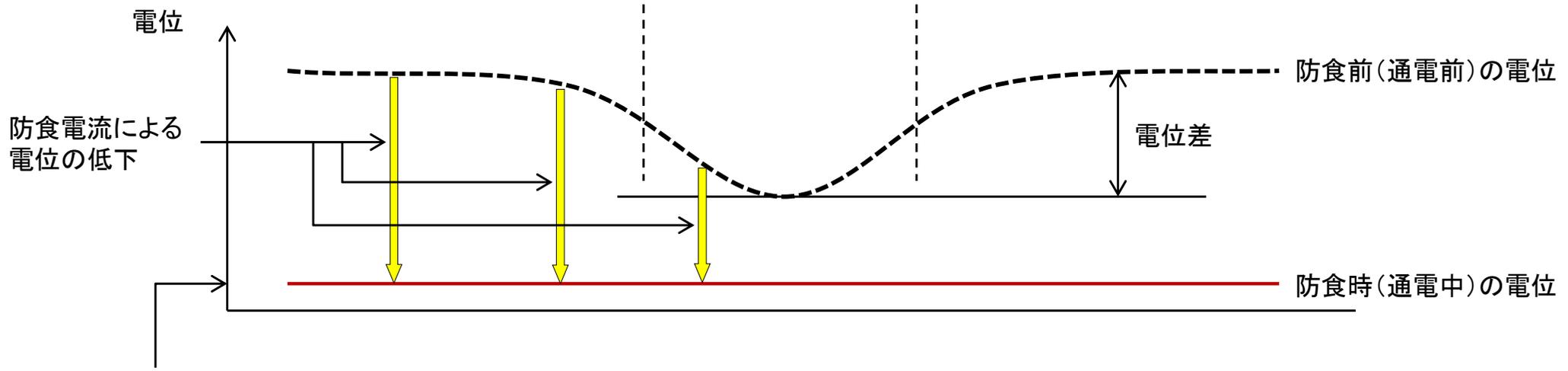
※2 電気防食工法は原理的には中性化に対しても適用可能であるが、経済性、維持管理等の観点から使われることは少ない。

・電気防食工法:

コンクリート表面またはその近傍に陽極システムを設置し、電解質であるコンクリートを介して鋼材へ電流を流すことにより、鋼材表面に生ずる電位差を無くし、腐食を抑制する工法。



防食電流は電位の高いカソード部に優先的に流れていき、アノード部との電位差は小さくなる。

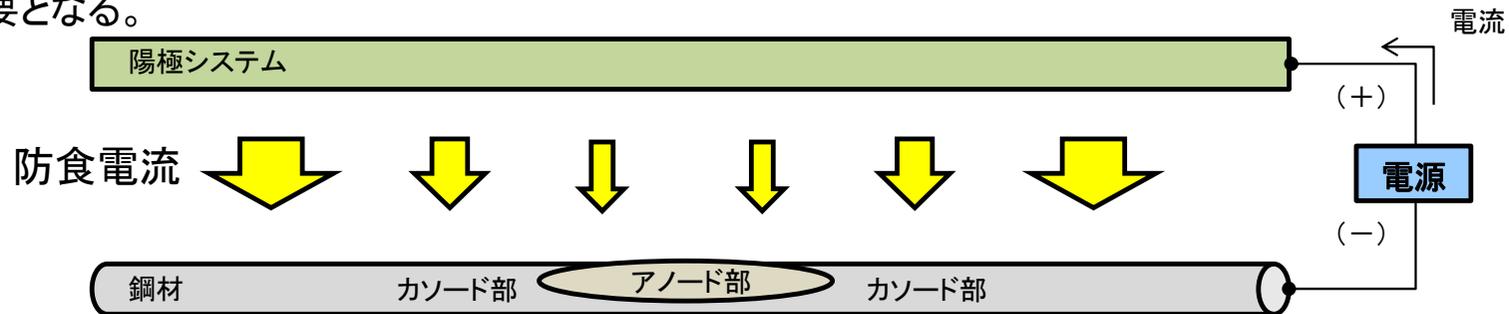


十分な防食電流を流すことで、アノード部とカソード部との電位差が無くなるため、腐食電流は小さくなり、鋼材の腐食反応は抑制される。

・電気防食工法の種類:電源方式による分類

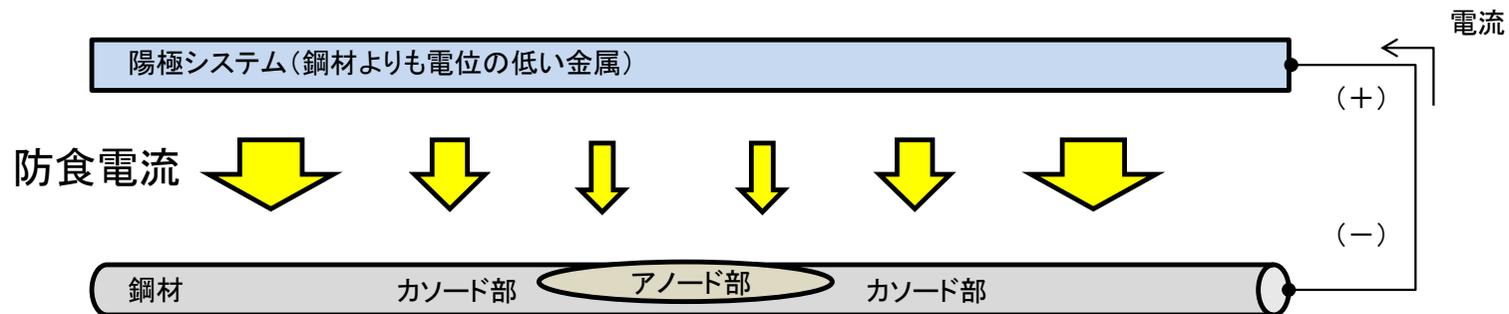
・外部電源方式:

直流電源装置により、陽極と鋼材間に防食電流を流し、電気防食を行う方式。直流電源装置を用いるため、防食電流の調整が可能である。陽極システムの耐用年数は、通電する電流の大小によるが、通常、チタン系では40年以上の耐用年数が期待できる。直流電源装置についてもコンデンサーなどの電気部品の消耗により、10~20年の使用で部品の交換や設備の更新が必要となる。



・流電陽極方式:

コンクリート内部の鋼材よりも電位の低い金属の陽極システムを用いて、両者の電位差により防食電流を流し、電気防食を行う方式。陽極システム自体が消耗することにより防食電流を流すため、陽極システムの耐用年数は、重量と消耗量により決定される。



・電気防食工法の種類:陽極システムの形状による分類(電源方式に依らない)

(1)面状陽極:

コンクリート表面あるいは内部に、面状の陽極システムを設置する方式。

特徴

- ・防食電流の均一性に優れる。
- ・コンクリート表面の下地処理が必要。
- ・コンクリート表面に溝の切削は不要。



NETIS掲載情報より引用



NETIS掲載情報より引用

(2)線状陽極:

コンクリート表面あるいは内部に、線状の陽極システムを設置する方式。

特徴

- ・鋼材の配置に応じて、適切に陽極材を配置できる。
- ・コンクリート表面の塗膜を全面除去しなくても適用可能。
- ・コンクリート内部に陽極材を埋め込む場合には、一般的に溝の切削が必要。



(株)ナカボータックHPより引用

(<http://www.nakabohtec.co.jp/jigyo/saltdamageCathodic.html>)



(3)点状陽極:

コンクリート表面あるいは内部に、
点状または棒状の陽極システムを設置する方式。

特徴

- ・補修範囲の形状に応じて、適切に陽極材を配置できる。
- ・コンクリート内部に陽極材を埋め込む際、防食が必要な箇所だけをはつり取り、コンクリート表面の下地処理を行えばよい。



NETIS掲載情報より引用



NETIS掲載情報より引用

・電気防食工法における防食基準、耐久性の基準

- (1)防食電流を流す前後の鋼材の電位変化量を基準として、防食状態を管理する。
- ・電位変化量の基準は、鋼材の電位をマイナス方向に100mV以上変化させることを基本とする。
 - ・防食電流密度は100mV以上の電位変化量を満足するものとする。

(1)コンクリート中に電流が流れることによって、コンクリート組織そのものへの影響が懸念されるため、できるだけ少ない電流で必要な防食効果を達成することが望ましい。環境や測定方法の違いによる影響を考慮する必要が無い一義的な防食基準として、米国の基準の、100mV以上の電位変化量(NACE:National Associations of Corrosion Engineers, RP0290-90の基準に基づく)が多く採用されている。

電位変化量の判定には、一般に復極試験が用いられている(電気防食工法について(6/8)参照)。

100mV以上の電位変化量を満足するために必要な防食電流密度は通常1~30mA/m²である。また、下表を参考に、外部電源方式の場合は、防食期間を通して、陽極システムやコンクリートの品質低下を生じさせない範囲で設定し、流電陽極方式の場合は、必要とする防食電流密度が得られる陽極面積を設置する必要がある。

外部電源方式	<ul style="list-style-type: none"> ・初期の防食電流密度を決定するためにカソード分極試験を実施する。 ・通電が長期化するにつれて必要とされる防食電流密度が低下するため、状況に応じて防食電流密度を減少させることができる。 ・陽極材の電位がある程度以上に高くなると、電極反応が酸素の発生から、塩素の発生に代わるため、塩素発生電位を超えない範囲とすることが望ましい。
流電陽極方式	<ul style="list-style-type: none"> ・陽極材の面積に応じた電流が、電池作用により防食電流として鋼材に流れるため、必要防食電流を推定し、それに見合った面積の陽極を設置する必要がある。 ・通電直後は20~30mA/m²(陽極面積当り)程度の防食電流が流れ、100mV以上の電位変化量を満足する。通電が長期化するにつれて必要とされる防食電流密度が低下するため、陽極材の消耗速度が小さくなり、耐用年数を確保することができる。

・電気防食工法における防食基準、耐久性の基準

(2)PC鋼材は、飽和硫酸銅電極(CSE)基準で-1000mVより高い電位に設定しなければならない。

(2)コンクリート中の環境をpH=12.5とした場合、理論的には鋼材の電位は飽和硫酸銅電極(CSE)基準で-1050mVより低い電位となると、水素が発生するため、水素脆化^{※3}を引き起こす可能性がある。そのため、電気防食を施したPC鋼材においては、その電位を-1000mVより高い電位に保持し、鋼材周辺に水素が発生しないように電位を管理する必要がある。
 ※3水素脆化:鋼材に水素が侵入して材質が脆くなる現象。

(3)陽極材は、その機能が防食期間継続できることを確認したものの中から選定するものとする。

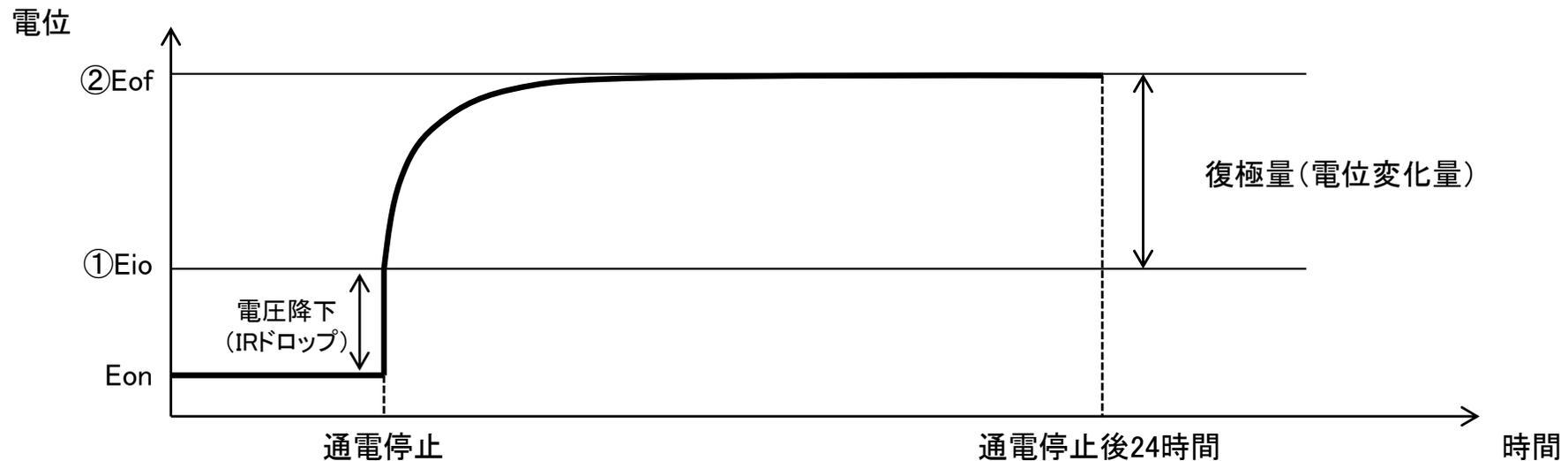
(3)陽極材は、下表の外部電源方式、流電陽極方式に要求される機能を有し、かつその機能が防食期間継続できることを確認したものの中から選定するものとする。

外部電源方式	(a) 防食対象であるコンクリート中の鋼材へ、均一な防食電流を流すことができること。 (b) 電流を流すことにより、その陽極の性能が低下しないこと。 ^{※4} (c) 電流を流すことで、塩素の発生等により、それに接するコンクリートの品質が低下しないこと。
流電陽極方式	(a) 防食電流を防食対象であるコンクリート中の鋼材へ流すことができる電位を有する金属であり、その電位を陽極材の耐用年数全体にわたって維持できること。 (b) 電子を放出することによって生じる金属の酸化物による体積膨張等で、コンクリートの品質に影響を与えないこと。 (c) 電流を均一に流すための構造を有するもの。

※4 陽極材は、防食期間を通して所定の耐久性を有することが必要である。外部電源用陽極材については国内には基準が無いが、米国の基準では、3種類の溶液(模擬海水、高アルカリ、模擬細孔溶液)中で、8時間の逆通電試験と180日間の通電試験(通電電流密度:8.9A/m²×24時間×180日≒積算電流量:38,500Ah/m²)を行い、陽極材電位が4V以上上昇しないことを陽極の合格基準としており、この基準に合格すれば陽極材は40年以上の耐久性を持つものとしている(積算電流量:38,500Ah/m² / 電流密度0.11A/m² / 24時間 / 365日≒40年)。

・復極試験について

復極試験とは、通電を一時的に停止し、停止直後の鋼材のインスタントオフ電位 (E_{io}) と一定の時間が経過した後 (一般的に24時間後) の電位 (E_{of}) の差を測定して、目標の電位変化量が得られるかを確認する試験である。



・復極試験の手順

①防食電流を遮断した直後のインスタントオフ電位 (E_{io}) を測定する。ここで測定される値は電圧降下 (IRドロップ) ※による誤差を含まない。

※電圧降下 (IRドロップ) : 電解質 (コンクリート) 中を流れる電流と、電解質の抵抗との積による測定誤差。

②防食電流を遮断し、十分に復極した後の鉄筋の電位 (E_{of}) を測定する。その電位は、その時点のコンクリート環境および鋼材表面の状態に応じた値を示す。

・電気防食工法の維持管理・点検

維持管理者は、防食期間を通して、要求される性能を維持できるように、維持管理計画を策定し、電気防食装置の維持管理を適切に行わなければならない。

電気防食工法に要求される防食性能とは、防食対象となるコンクリート構造物内部の鋼材の腐食を抑制することであり、電気防食装置の稼働状態、モニタリング装置を利用した防食効果の確認によって判定することができる。

維持管理計画とは、適用した電気防食工法の維持管理において、点検、評価および判定、対策、記録などの時期、頻度、方法等を総合的に計画することである。なお、合理的な維持管理計画を行うためには、防食対象とする構造物の構造形式、電気防食工法の施工、材料、設備の設置される環境条件・電位等の初期値等の情報を十分に収集しておく必要がある。

電気防食工法の維持管理は、点検、評価および判定、対策、記録を合理的に組み合わせて行わなければならない。

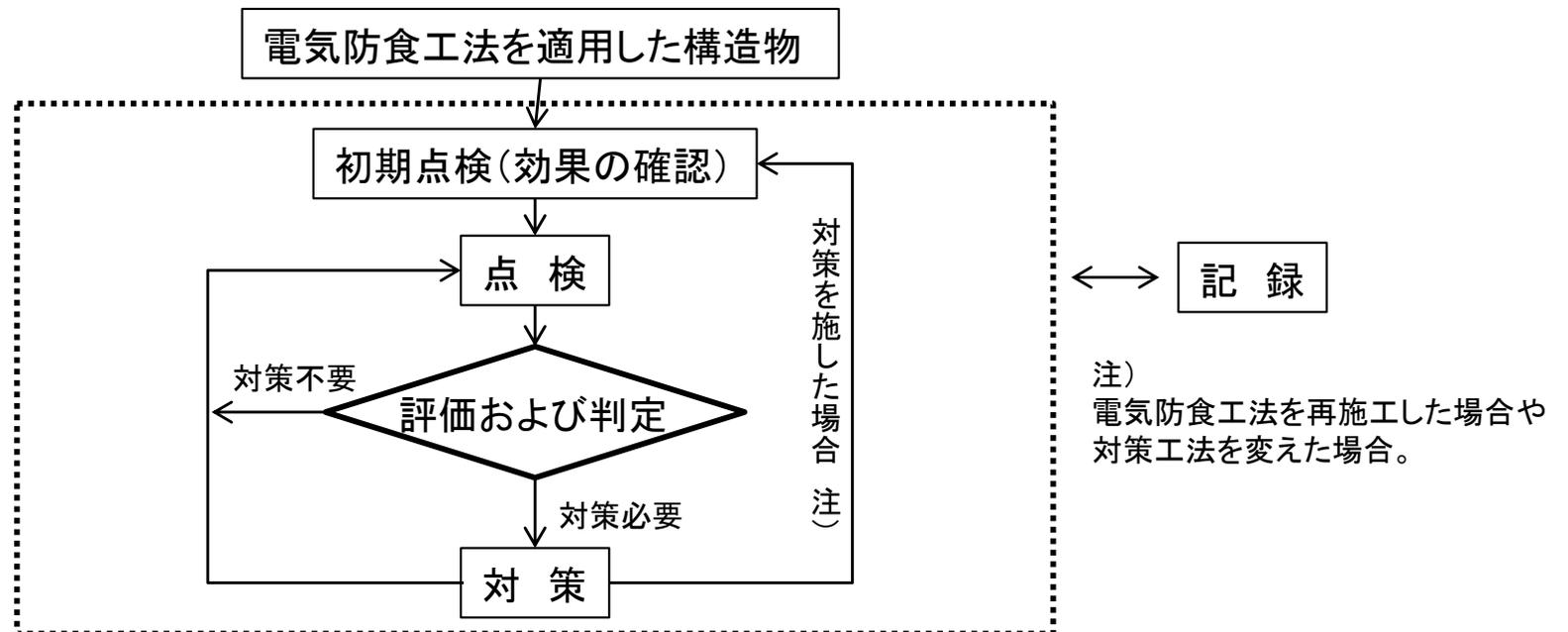


図1 維持管理の手順

・電気防食工法の維持管理・点検

- (1) 電気防食装置の点検は、維持管理計画に基づいて、適切な方法や頻度で実施しなければならない。
- (2) 電気防食装置の点検は、電気防食装置が鋼材に対し電流を流す機能を維持していることの確認を行うことを基本とする。

電気防食工法に要求される防食性能を満足させるためには、防食対象構造物内の鋼材に対して、適切な電流が流されてなければならない。そのためには定期的に、電気防食装置の直流電源装置、モニタリング装置、配線配管などの付帯設備の点検及び防食効果の確認を実施する必要がある。

点検には日常点検、定期点検、詳細点検があり点検の項目によりその内容が異なっている。

- ・日常点検: 日常の巡回時における外観・稼働状況の目視確認、記録等。一般的な定期点検頻度の目安は表1のようになっている。
- ・定期点検: 維持管理計画に基づく定期的な外観・稼働状況の目視確認、通電電流量・鋼材電位の計測、確認、記録等。
- ・詳細点検: 日常点検・定期点検の結果から異常が発見された場合に、電気防食に関して専門知識を有する技術者が確認、記録し、異常個所については、その原因を特定する。

表1 定期点検実施頻度の目安

構造物の立地環境	適用対象構造物	定期点検頻度の目安
陸上部・内陸部	RC構造物	初年度は年1回。以後、初年度の点検結果に基づき1~5年に1回程度。
	PC構造物	初年度は年2回。以後、初年度の点検結果に基づき1~5年に1回程度。
海洋環境	RC構造物	初年度は年2回。以後、初年度の点検結果に基づき1~5年に1回程度。
	PC構造物	初年度は年2回。以後、初年度の点検結果に基づき1~3年に1回程度。

版 数	発行日	改定履歴
第1版	平成30年3月31日	初版アップロード
第2版	令和4年5月30日	P.6工法比較表の推奨動作環境の改定 P.6～9新規登録技術、NETIS掲載終了技術に伴う凡例、技術の更新 P.12「工法比較表」の特徴[出力結果のイメージ(簡易版)(2/2)]の追加