

橋梁長寿命化のための 亜硝酸リチウムの活用

2024年11月8日

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

技術委員長 江良 和徳

<https://www.j-cma.jp/>

§ 1 . コンクリートの劣化メカニズム

- 塩害の劣化メカニズム
- 中性化の劣化メカニズム
- ASRの劣化メカニズム

§ 2 . 橋梁長寿命化のための亜硝酸リチウムの活用

- 亜硝酸リチウムの効果
- 亜硝酸リチウムの活用方法
- 亜硝酸リチウムを用いた新技術

§ 3 . 橋梁長寿命化のための補修工法選定の考え方

- 塩害・中性化の補修工法選定フロー
- ASRの補修工法選定フロー

§ 1 . コンクリートの劣化メカニズム

- 塩害
- 中性化
- ASR

塩害の劣化メカニズム

【原因】

- ・ 種々の原因で塩化物イオンがコンクリート中に浸入
- ・ 侵入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ浸透



【劣化の進行】

- ・ 塩化物イオンが鉄筋位置に到達
- ・ 鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量（腐食発生限界）を超えると、鉄筋の不動態皮膜が破壊される
- ・ そこに水、酸素が供給されることにより鉄筋が腐食



【性能低下】

- ・ ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出など
- ・ コンクリートと鉄筋との付着が低下
- ・ 鉄筋断面の減少

塩害の劣化事例



必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物（部材）の性能低下が生じる

中性化の劣化メカニズム

【原因】

- ・ 大気中の二酸化炭素がコンクリート中に浸入
- ・ 二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応
- ・ 細孔溶液中のpHが低下（pH=11以下）



【劣化進行】

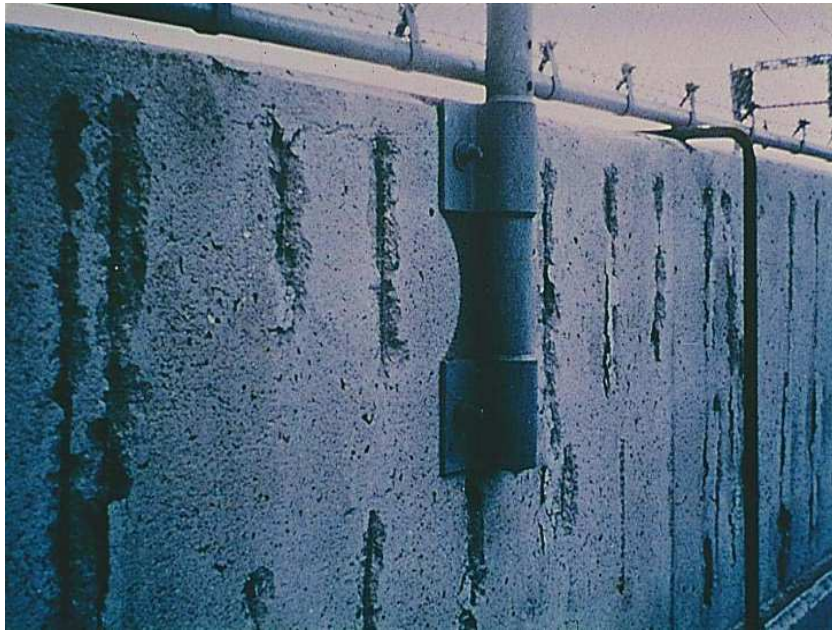
- ・ 中性化領域がコンクリート表面から内部に向かって進行
- ・ 中性化領域が鉄筋付近まで到達すると不動態皮膜が破壊
- ・ そこに水、酸素が供給されることにより鉄筋が腐食



【性能低下】

- ・ ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出など
- ・ コンクリートと鉄筋との付着が低下
- ・ 鉄筋断面の減少

中性化の劣化事例



壁高欄のコンクリートはく落

- 道路橋壁高欄
- 自動車の排気ガスによるCO₂供給
- はく離箇所以外の鉄筋も腐食



張出し床版下面の鉄筋露出

- RC上部工の張出し床版下面
- もともと鉄筋かぶりが不足
- 早期に中性化領域が鉄筋位置に到達

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物（部材）の性能低下が生じる

不動態皮膜と鉄筋腐食

- ・ 塩害、中性化は共にコンクリート内部の鋼材腐食による性能低下
- ・ 鋼材が腐食環境（不動態皮膜の破壊）となる原因が塩害と中性化で異なる

【塩害】

高い塩化物イオン量
により不動態皮膜が破壊される



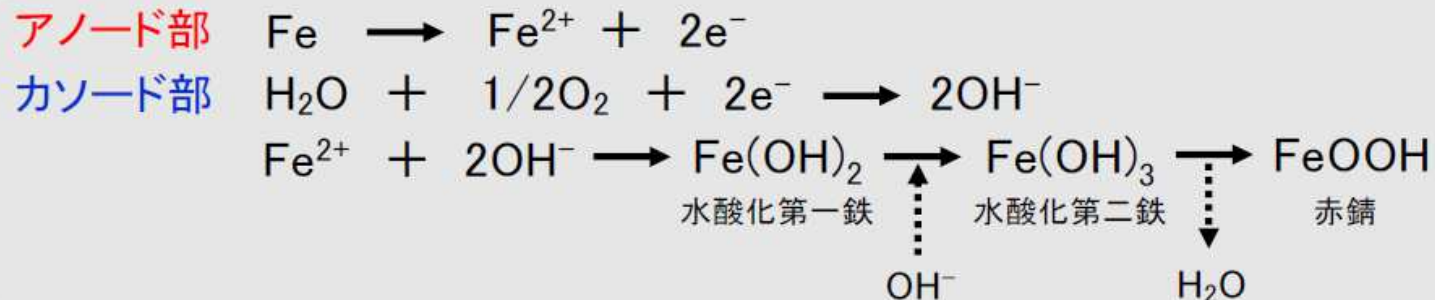
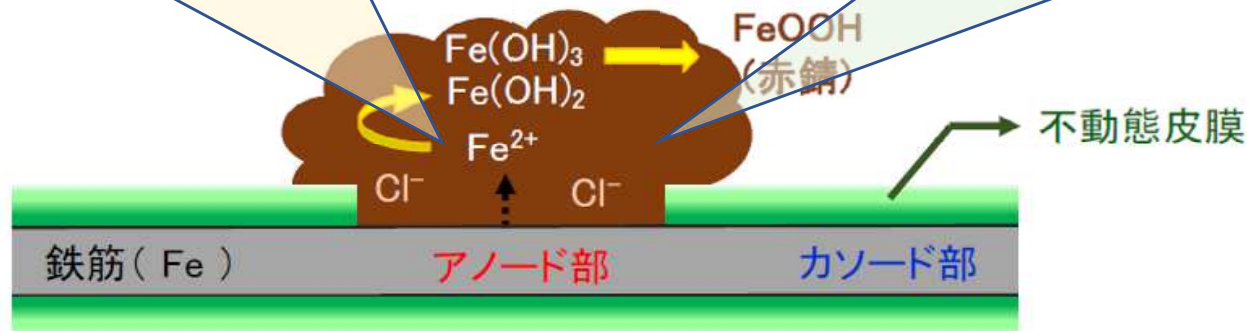
鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離

【中性化】

コンクリートのpHの低下
により不動態皮膜が破壊される



鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離



参考：コンクリート診断士試験では（塩害）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2024年	択一式	・鉄筋腐食反応 ・塩化物イオン量測定方法 ・自然電位法 ・犠牲陽極材による塩害補修(写真) ・外部電源方式電気防食工法
	記述式	・(建築)RC建築物の変状 塩害と中性化の複合劣化 塩分濃縮
2023年	択一式	・鉄筋腐食と分極曲線の概念 ・電位差滴定法の手順 ・腐食速度の経年変化から腐食量推定 ・塩化物イオン量規準の変遷 ・塩害補修選定(写真) ・鉄筋防錆処理 ・脱塩工法の留意点
	記述式	・(土木)PCポストT桁の変状 凍結防止剤 PC鋼材腐食 桁端
2022年	択一式	・高炉セメントの塩分浸透 ・塩害の調査項目 ・塩化物イオン抽出方法 ・飛来塩分調査方法(ドライガーゼ法) ・断面修復工(マクロセル腐食) ・予防保全としての表面被覆工 ・塩害補修のLCC
	記述式	・(土木)鉄道高架橋 塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2021年	択一式	・不働態皮膜とアノード反応、カソード反応 ・見かけの拡散係数と塩分濃縮 ・分極抵抗法(交流インピーダンス法)の原理 ・塩分濃縮の将来予測 ・ひび割れ補修 ・断面修復工 ・電気防食の留意点
	記述式	・(土木)RC中空床版橋 防水層なし 凍結防止剤散布 塩害の影響

参考：コンクリート診断士試験では（中性化）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2024年	択一式	・中性化の特性 ・鉄筋腐食進行型ひび割れ ・RC構造物の中性化進行予測($\sqrt{t}$則)と正規分布
	記述式	・(建築)RC建築物の変状 塩害と中性化の複合劣化 塩分濃縮
2023年	択一式	・中性化速度係数 ・表面被覆後の中性化進行予測($\sqrt{t}$ 則)
	記述式	—
2022年	択一式	・中性化速度係数 ・RC壁の中性化進行予測($\sqrt{t}$ 則)
	記述式	・(土木)鉄道高架橋 塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮
2021年	択一式	・中性化進行の特徴 ・見かけの拡散係数と塩分濃縮 ・けい酸塩系含浸材塗布後の中性化進行予測($\sqrt{t}$則) ・塩分濃縮の将来予測
	記述式	—

ASRの劣化メカニズム

【原因】

- ・コンクリート中は高アルカリ環境
- ・コンクリート構造物は雨水や地下水などによる水分供給
- ・コンクリートの骨材としての反応性骨材の使用



【劣化の進行】

- ・反応性骨材がアルカリ分と反応してアルカリシリカゲルを生成
- ・コンクリート内部へ水分が侵入
- ・アルカリシリカゲルの吸水膨張によりコンクリートにひび割れ発生



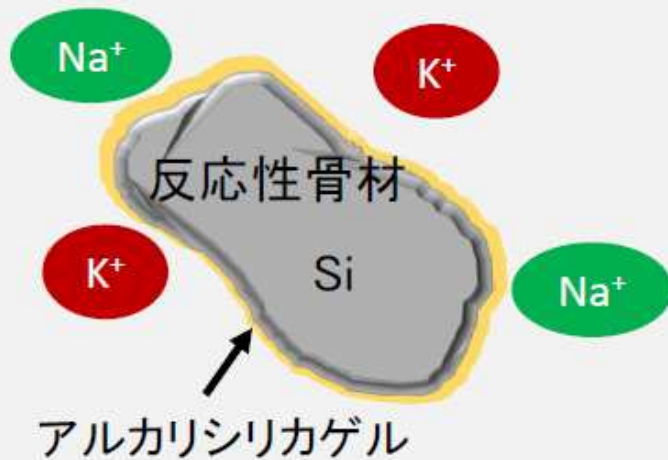
【性能低下】

- ・ひび割れ進展、白色ゲル析出、段差、異常変形など
- ・圧縮強度、静弾性係数の低下、鉄筋腐食、鉄筋破断など

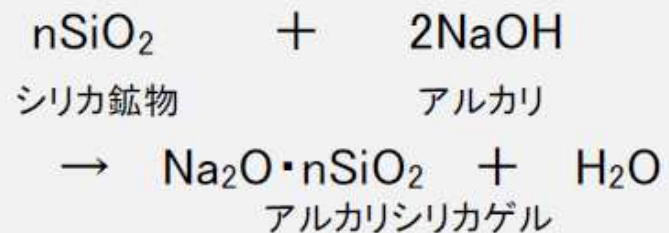
アルカリシリカゲルの生成と膨張

第1ステージ

『アルカリシリカゲルの生成』



《化学式》

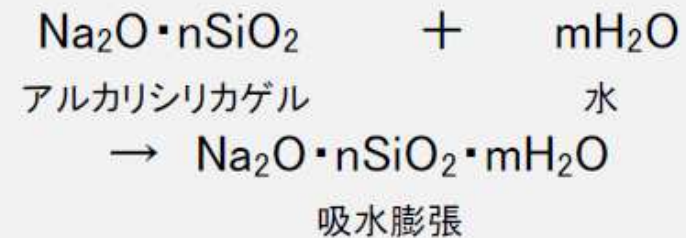


第2ステージ

『アルカリシリカゲルの膨張』



《化学式》



ASRの劣化事例



ASRによるひび割れはゲルの吸水膨張に起因し、鉄筋腐食とは無関係に進行する
ただし、ASRひび割れが起点となって鉄筋腐食が進行することもある

参考：コンクリート診断士試験では（ASR）

【ERA調べ】

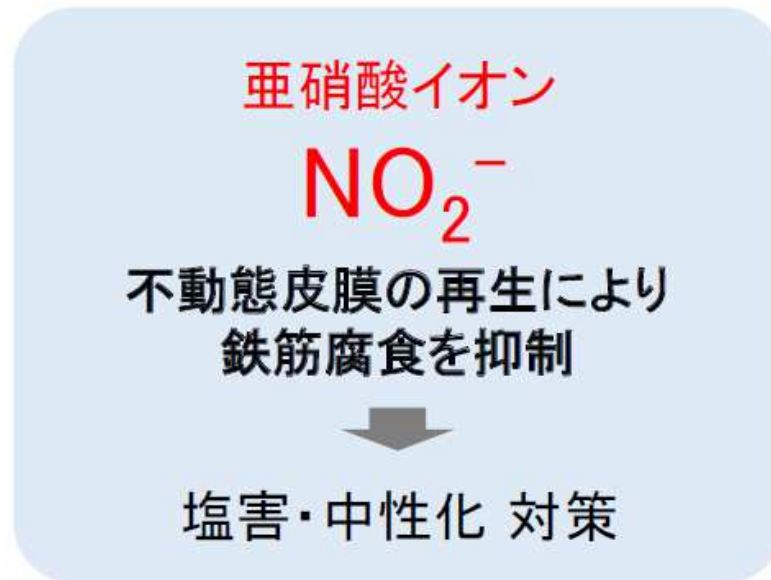
年度	設問	出題内容
2024年	択一式	・ASRの特性 ・促進養生試験（JCI-S-011法） ・アルカリシリカゲル ・コア破断面観察 ・反応性骨材の地域特性
	記述式	—
2023年	択一式	・ペシマム現象の特徴 ・全アルカリ量（等価Na ₂ O換算量）の計算 ・漏洩磁束法による鉄筋破断の検出 ・塩害とASRの複合劣化
	記述式	・（建築）市民ホールのASRによる変状
2022年	択一式	・ASRの劣化調査方法 ・促進養生試験（JCI-S-011法） ・掛違い橋脚のASR補修工法選定（写真）
	記述式	—
2021年	択一式	・モルタルバー法による膨張性評価 ・ASRの劣化調査方法 ・反応性鉱物の調査方法 ・PC桁のASR劣化（写真） ・ASR関連基準の変遷 ・ASR補修工法と補修材料
	記述式	—

§ 2 . 橋梁長寿命化のための 亜硝酸リチウムの活用

- 亜硝酸リチウムの効果
- 亜硝酸リチウムの活用方法
- 亜硝酸リチウムを用いた新技術

亜硝酸リチウムの効果

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果 リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

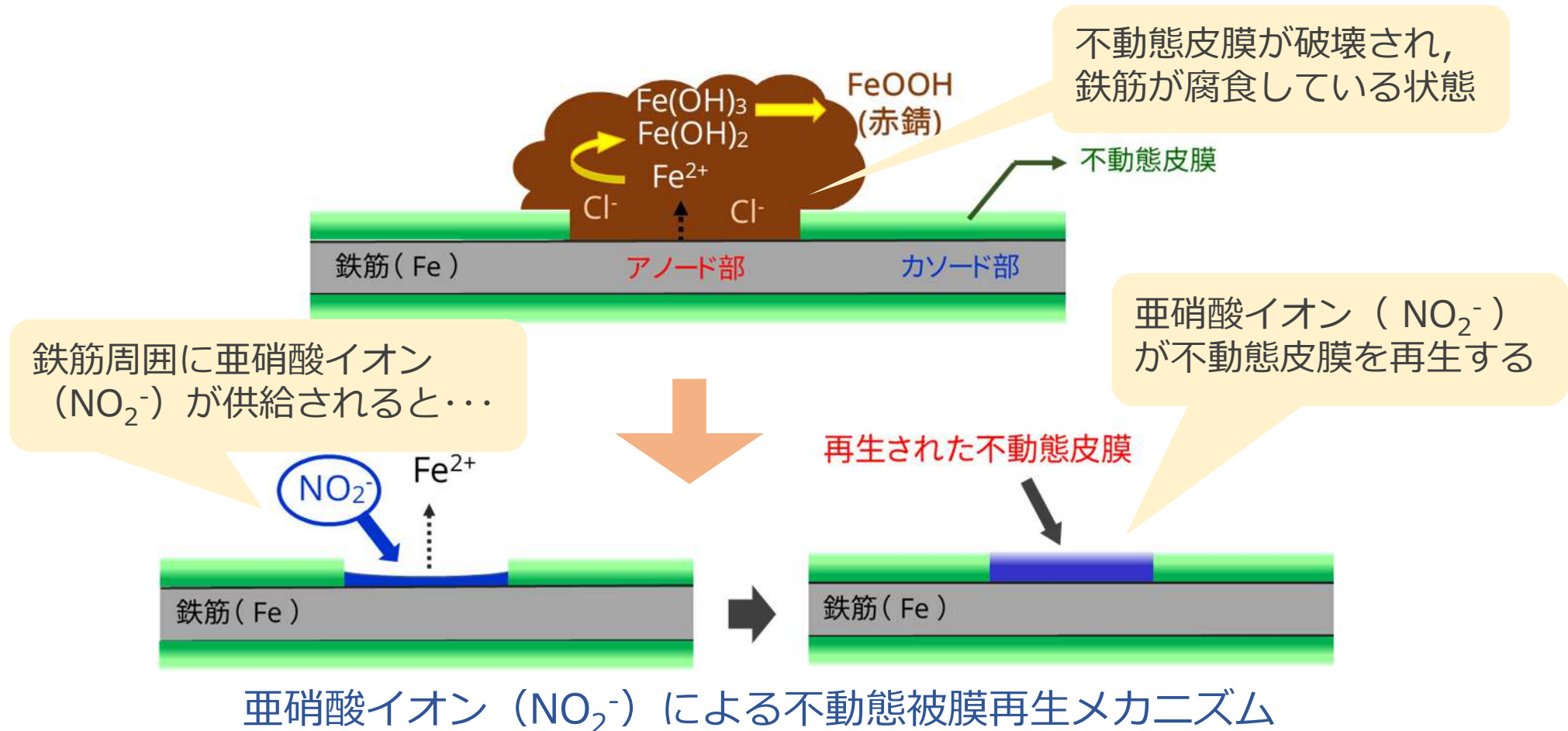


- ・ 亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有する水溶液
- ・ 原材料は「天然ガス」と「リシア輝石」
- ・ 濃度は40%（限界濃度）

Lithium Nitrite ; LiNO_2



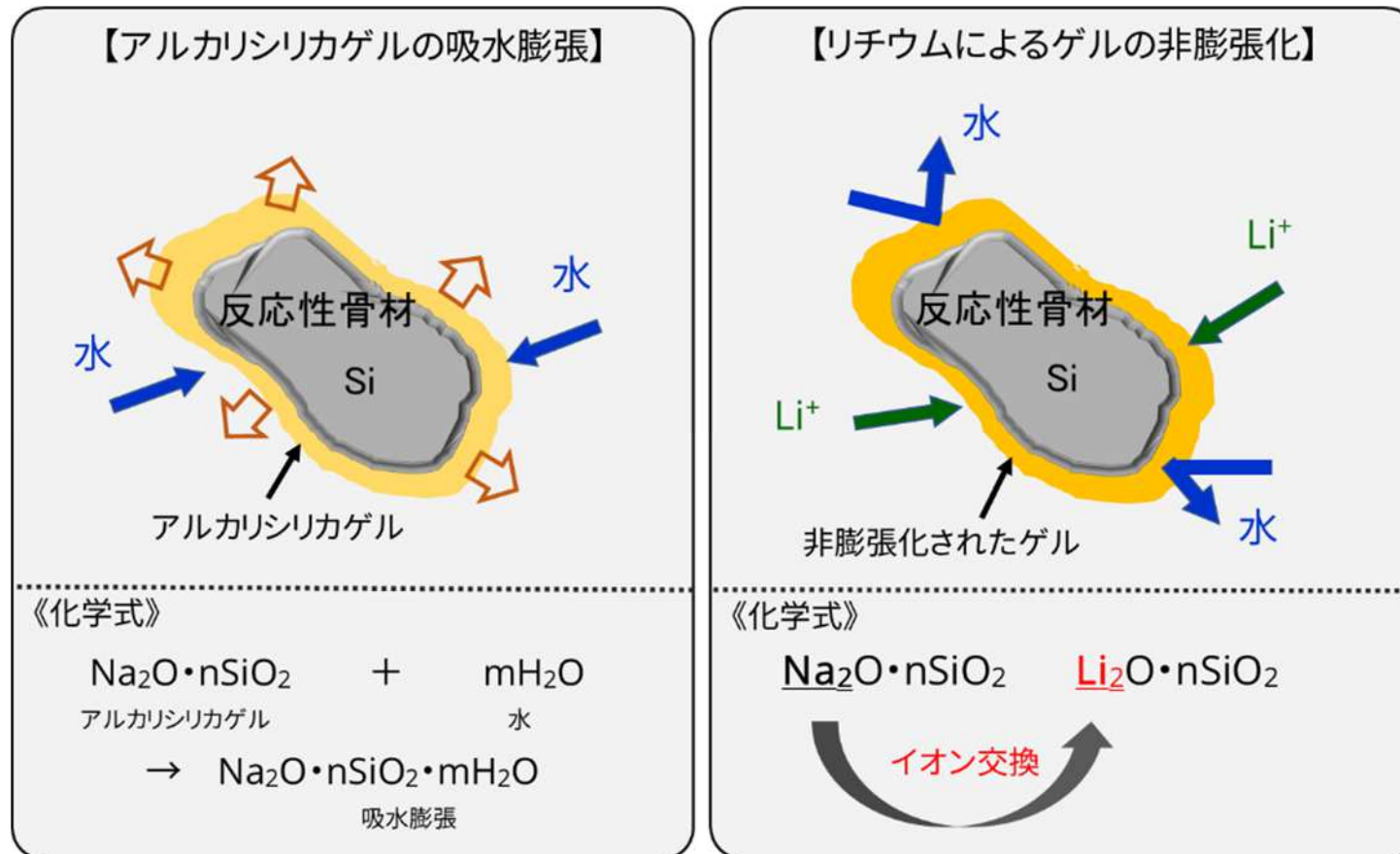
亜硝酸リチウムの効果



- ・ 亜硝酸イオンの存在により、鉄筋の腐食を抑制することができる
- ・ あとは、鉄筋位置に亜硝酸イオンを供給する手段を考えればよい！

⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

亜硝酸リチウムの効果



リチウムイオン (Li⁺) によるアルカリシリカゲルの非膨張化

- ・ リチウムイオンの存在により、アルカリシリカゲルが非膨張化する
- ・ あとは、ゲルにリチウムイオンを供給する手段を考えればよい！

⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

参考：コンクリート診断士試験では（亜硝酸リチウム）

【ERA調べ】

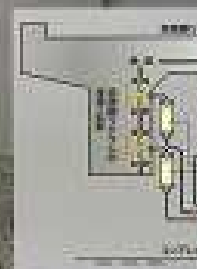
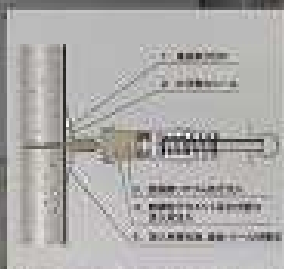
年度	設問	内容
2024年	択一式	・アルカリシリカ反応による膨張：選択肢に「リチウムイオンには、アルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張を抑制する効果がある」
2023年	択一式	・RC床版の土砂化の原因：選択肢に「亜硝酸イオン」 ・断面修復の鉄筋防錆処理：設問文に「亜硝酸塩系の鉄筋防錆剤」
2022年	択一式	・（写真）変状に対する対策工選定：選択肢に「亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル」
2019年	択一式	・（写真）変状に対する補修材料選定：選択肢に「亜硝酸リチウム」
2017年	択一式	・アルカリシリカ反応の特徴：選択肢に「リチウムイオンによる膨張抑制効果」
2015年	択一式	・表面含浸材の成分と効果：選択肢に亜硝酸カルシウム
2013年	択一式	・表面含浸材の成分と効果：選択肢に「亜硝酸リチウムによる鉄筋表面の不動態化」
2011年	択一式	・劣化機構と補修工法：ASRに「亜硝酸リチウムを用いた含浸工法」

亜硝酸リチウム設計・施工指針（案） 第2版

コンクリート構造物を対象とした 亜硝酸リチウムによる 補修の設計・施工指針（案）

第 2 版

- 亜硝酸リチウムの特性
- 亜硝酸リチウムを用いた補修設計の考え方
- 亜硝酸リチウムを用いた各種補修の設計・施工



2022 年 4 月

一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会

委員長：十河茂幸
幹事長：江良和徳
幹事：徳納 剛， 峯松昇司
編集委員：竹田宣典， 濱崎 仁， 牛島 栄， 小椋明仁，
岡田繁之， 真鍋英規， 福田杉夫， 須藤裕司，
勘田泰邦
アドバイザー：宮川豊章， 梶田佳寛， 添田政司， 松田 浩，
鎌田敏郎， 久田 真， 小林孝一， 上田隆雄，
久保善司， 山本貴士， 黒田 保， 井上真澄，
李 春鶴， 富山 潤， 川崎佑磨， 樋原弘貴，
高谷 哲， 平田隆祥， 谷口秀明， 野村昌弘，
内田博之， 堀 孝廣

編集委員会の構成

総ページ数：196頁

定価：¥3,800円

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法 『リハビリシリリンダー工法』



REHABILI

プロコン40

リハビリ工法

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術 NETIS:CG-110017-VR

ひび割れ低圧注入

リハビリシリリンダー工法

特徴

スプリング圧による自動低圧注入器！

ひび割れ低圧注入『リハビリシリリンダー工法』は、注射器型のひび割れ注入器『リハビリシリリンダー』を用いてコンクリートのひび割れを充填、閉塞させる補修技術です。『リハビリシリリンダー』に内蔵された特製スプリングにより、シリリンダー内部にセットしたひび割れ注入材を最後まで一定圧力で自動注入することができます。

流動性に優れた超微粒子セメント系注入材！

ひび割れ低圧注入『リハビリシリリンダー工法』に使用する注入材は超微粒子セメント系注入材です。そのスラリーは粘性が低く流動性に優れているため微細なひび割れにも浸透し、緻密な硬化体を作成します。また、超微粒子セメント系注入材に先立って浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を先行注入することによってひび割れ内部の湿度状態が長期持続し、注入材の充填性がさらに向上します。

塩害・中性化・ASRによるひび割れに有効！

一般的なひび割れ注入工法の目的は、ひび割れ閉塞とそれに伴う劣化因子の遮断です。しかし、『リハビリシリリンダー工法』は単にひび割れを閉塞させるだけの工法ではありません。使用材料として超微粒子セメント系注入材に浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を併用しますので、注入材によるひび割れ閉塞に加えて、亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果およびASR膨張抑制効果を付与することができます。

公共土木施設の長寿命化に資する技術に登録！！

『リハビリシリリンダー工法』は、広島県の公共土木施設の長寿命化に資する技術の区分3(推奨技術)に登録されています。

施工事例

リハビリシリリンダー設置状況

樹脂注入状況

プロコン40先行注入の状況

超微粒子セメント系注入材本注入の状況

施工仕様

注入装置:自動低圧注入器『リハビリシリリンダー』

注入材:超微粒子セメント系ひび割れ注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』

注入圧力:0.1MPa~0.2MPa程度
ひび割れ幅:0.2mm~1.0mm程度

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはアスクサンダー等により下地処理します。
2. リハビリシリリンダーを固定する座金をひび割れに沿って250mm間隔で設置します。
3. 座金間のひび割れをポリマーセメントモルタルにてシーリングします。
4. リハビリシリリンダーに『プロコン40』を充填し、座金にセットしてひび割れ内に先行注入します。
5. 超微粒子セメント系注入材をリハビリシリリンダーに充填し、座金にセットしてひび割れに本注入します。
6. 注入材が硬化した後、リハビリシリリンダーと座金を撤去し、シーリング材を除去します。

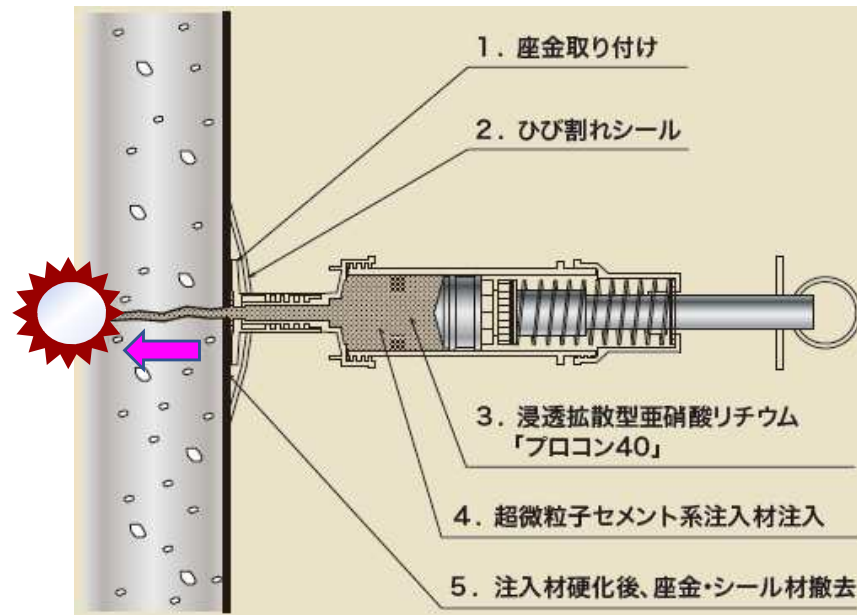
工法概念図

ひび割れ注入工

1. 座金取り付け
2. ひび割れシーリング
3. 『プロコン40』先行注入
4. 超微粒子セメント系ひび割れ注入材注入
5. 注入材硬化後、座金・シーリング材撤去

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法

【リハビリシリンダー工法】



- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

期待できる性能、効果

- 基本性能 : 『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』
- 付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

リハビリシリンダー工法の比較検討の例

	エポキシ樹脂 1種	エポキシ樹脂 3種	リハビリシリンダー工法
概念図			
特長	エポキシ樹脂1種注入材	エポキシ樹脂3種注入材	亜硝酸リチウム + 超微粒子セメント系注入材
長所	付着性に優れる 湿潤面硬化型もある	付着性に優れる ひび割れ追従性がある	不動態皮膜の再生あり コンクリートと物性が近い
短所	不動態皮膜の再生なし ひび割れ追従性がない	不動態皮膜の再生なし	付着性に劣る ひび割れ追従性がない
経済性	7,800～8,200円/m	7,900～8,300円/m	8,300円/m

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法 『プロコンガードシステムS』

NETIS : CG-190024-A



REHABILI
プロコンガード
リハビリ工法

亜硝酸リチウムとシリラン・シロキサン系表面含浸材
を併用した塩害・中性化・ASR補修技術
**亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法
プロコンガードシステムS**

プロコンガードシステムSとは

プロコンガードシステムは、亜硝酸リチウムを主成分とする含浸材「プロコンガードプライマー」と、シリラン・シロキサン系主成分とする含浸材「プロコンガードS」を組み合わせた亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法です。

従来の表面含浸材は主に劣化因子の遮断を目的としており、その適用範囲は劣化機構の潜伏期に相当する期間とされています。

プロコンガードシステムSは、劣化因子の遮断に加え、亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆効果とアルカリシリカゲル膨張抑制効果を付加価値として備えています。したがって、劣化過程が潜伏期だけでなく、既に鉄筋腐食やASR膨張が生じつつある進展期や加速期前期などの段階であっても、1歩踏み込んだ予防安全対策として適用することができます。プロコンガードシステムは他の表面含浸工法と同様にコンクリートの外観を変えることはありませんので、施工後の経過観察、モニタリング性に優れています。

特徴

劣化因子の遮断

■プロコンガードS（シリラン・シロキサン系含浸材）がコンクリート表面で、吸水防止層を形成して、水分・塩化物イオン、二酸化炭素などの劣化因子の侵入を防ぎます。

劣化抑制メカニズム

■塩害、中性化の補修の場合、プロコンガードプライマー（亜硝酸リチウム系含浸材）に含まれる亜硝酸イオンが鉄筋位置まで浸透、拡散することで、鉄筋の不動態被膜を再生して防錆環境を形成し、以後の鉄筋腐食の進行を抑制します。

■特に塩害補修の場合には、亜硝酸イオン供給量（プロコンガードプライマー塗布量）を塩化物イオン量に応じて定量的に設定することができます。

■ASR補修の場合、プロコンガードプライマー（亜硝酸リチウム系含浸材）に含まれるリチウムイオンが浸透、拡散したコンクリート表面部では、アルカリシリカゲルが非膨張化され、以後のASR膨張の進行を抑制します。

期待される効果

- 塩害補修：劣化因子（塩化物イオン）の侵入遮断＋鉄筋腐食抑制（不動態被膜再生）
- 中性化補修：劣化因子（二酸化炭素）の侵入遮断＋鉄筋腐食抑制（不動態被膜再生）
- ASR補修：劣化因子（水分）の侵入遮断＋ASR膨張抑制（ゲルの非膨張化）

施工手順

- ①下地処理
サンダーケレン及び高圧水洗い等でコンクリート表面の塵埃層や汚れを除去する。
- ②「プロコンガードプライマー」の塗布
刷毛及びローラー等で規定量（標準塗布量0.3kg/m²）を塗布する。
- ③「プロコンガードS」の塗布
刷毛およびローラー等で有効成分規定量（標準塗布量0.18kg/m²）を塗布する。

施工の注意

- 「プロコンガードプライマー」は規定量を必ず定めて下さい。
- 「プロコンガードプライマー」塗布後、乾燥状態を確認して下さい（水分率5%以下）。
- 0℃以上で施工して下さい。

性状：ジェル状

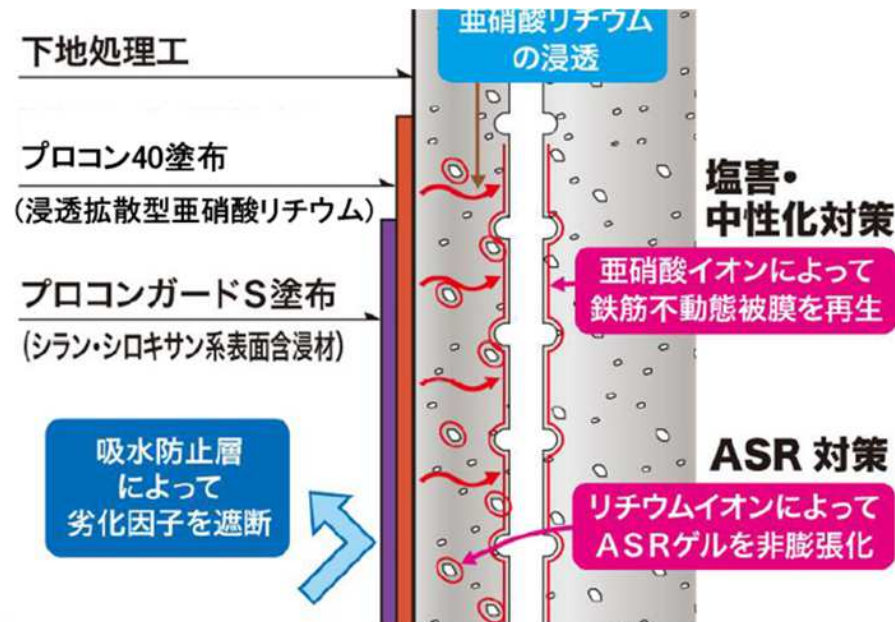
吸水防止層：均一・高密度

施工概念図

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法

【プロコンガードシステムS】

NETIS : CG-190024-A



- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②浸透拡散型亜硝酸リチウムを塗布し、内部へ含浸させる ⇒ **鉄筋防錆**
- ③シラン・シロキサン系含浸材を塗布し、撥水層を形成する ⇒ **劣化因子の遮断**

期待できる性能、効果

基本性能 : 『シラン・シロキサン系含浸材による劣化因子の遮断』
付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

プロコンガードシステムSの比較検討の例

	けい酸塩系含浸材	シラン系含浸材	プロコンガードシステムS
概念図	① 下地処理工 (サンダーケレン) ② ケイ酸ナトリウム系表面含浸材	① 下地処理工 (サンダーケレン) ② シラン系表面含浸材 (標準塗布量: 0.2kg/m²)	下地処理工 プロコン40塗布 (浸透拡散型亜硝酸リチウム) プロコンガードS塗布 (シラン・シロキサン系表面含浸材) 亜硝酸リチウムの浸透 塩害・中性化対策 亜硝酸イオンによって鉄筋不動態被膜を再生 ASR対策 リチウムイオンによってASRゲルを非膨張化 吸水防止層によって劣化因子を遮断
特長	組織の緻密化、改質	撥水効果、吸水防止	鉄筋腐食抑制 撥水効果、吸水防止
長所	劣化因子を遮断 微細なひび割れは閉塞	劣化因子を遮断 実績が豊富	劣化因子を遮断 不動態皮膜の再生あり
短所	不動態皮膜の再生なし	不動態皮膜の再生なし	2工程となる
適用範囲	基本的に『潜伏期』	基本的に『潜伏期』	『進展期』、『加速期前期』
経済性	4,000～5,000円/m ²	3,000～4,000円/m ²	6,800円/m ²

亜硝酸リチウム併用型断面修復工法 『リハビリ断面修復工法』

NETIS : CG-220003-A



REHABILI
PSL-40
リハビリ工法

断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液『PSL-40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術

リハビリ 断面修復工法

特徴

亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルによる劣化部の修復!

リハビリ断面修復工法は、塩害・中性化・ASRで劣化したコンクリートの断面修復に適しています。塩化物イオン・アルカリ脱離に適合した断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を含有したポリマーセメントモルタルを使用します。ポリマーセメントモルタルは付着性に優れたものを使用し、母材コンクリートとの一体性を確保することが出来ます。また、左官工法、層式吹付工法での施工が可能です。組織が緻密であるため中性化も進行しにくくなり、耐久性に優れます。

亜硝酸リチウムによる塩害・中性化抑制効果の付与!

塩害や中性化などで劣化したコンクリート構造物に対し、リハビリ断面修復工法を採用する場合、まず、劣化したコンクリートをハツリ取り撤出した鉄筋表面に防錆材として、『プロコンガードプライマー』と『リハビリペースト』を塗布します。その後、断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を混入したポリマーセメントモルタルで断面修復をすることによって、鉄筋周囲の亜硝酸リチウムによる防錆雰囲気を持続させ、鉄筋の腐食を長期間にわたって抑制します。

施工仕様

補修方法: 左官工法・層式吹付工法による断面修復
断面修復材: 断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液『PSL-40』含有ポリマーセメントモルタル
鉄筋防錆剤: 『プロコンガードプライマー』(亜硝酸リチウム系無害塗料)、『リハビリペースト』(亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト)

施工手順

1. コンクリートの損傷な範囲を電動ピック等で取り除きます。
2. 露出した鉄筋の表面をディスクサンダー等によりクレンシ、入念に錆を落とします。
3. はつり面に『プロコンガードプライマー』を塗布する。
4. 鉄筋防錆材として『リハビリペースト』を鉄筋表面に塗布します。
5. 『PSL-40』含有ポリマーセメントモルタルを用いて、左官工法にて断面修復します。(層分量によって層数を調整する。)

① 着工前、劣化の状況

●着工前、鉄筋周囲の一部は鉄筋露出が見られていた。

●施工前には鉄筋の周囲にコンクリートの剥離が確認された。

② はつり完了

●断面修復を行う範囲のはつり作業完了。

●施工前の写真と比べ、コンクリートの剥離がなくなり、鉄筋の周囲も、肉に露出していたことがわかる。

③ 鉄筋クレン

●露出した鉄筋の表面をディスクサンダー等によりクレンシ、入念に錆を落とす。

④ 鉄筋防錆材塗布

●鉄筋防錆材として、鉄筋表面に『プロコンガードプライマー』を塗布する。

⑤ 断面修復

●断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を混入したポリマーセメントモルタルを用いて、左官工法にて断面修復する。

⑥ 断面修復完了

●断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を混入したポリマーセメントモルタルを用いて、左官工法にて断面修復する。

物性例

試験項目	材料	亜硝酸リチウム20kg/m ³ 配合	亜硝酸リチウム55kg/m ³ 配合	備考
圧縮強度 (N/mm ²)	1日	21.4	20.3	40x40x160mm 試験体
	28日	47.2	42.6	
曲げ強度 (N/mm ²)	1日	4.7	4.7	40x40x160mm 試験体
	28日	8.5	8.3	
長さ変化率 (×10 ⁻⁴)	28日	9.4	9.3	40x40x160mm 試験体20℃, 60%RH, CO ₂ =5%
促進中性化深さ (mm)	28日	-4.3	-4.7	
	28日	0	0	

※試験例であり、保証値ではありません。
※リフレシメントS170にPSL-40を混入した、物性値です。

施工要領

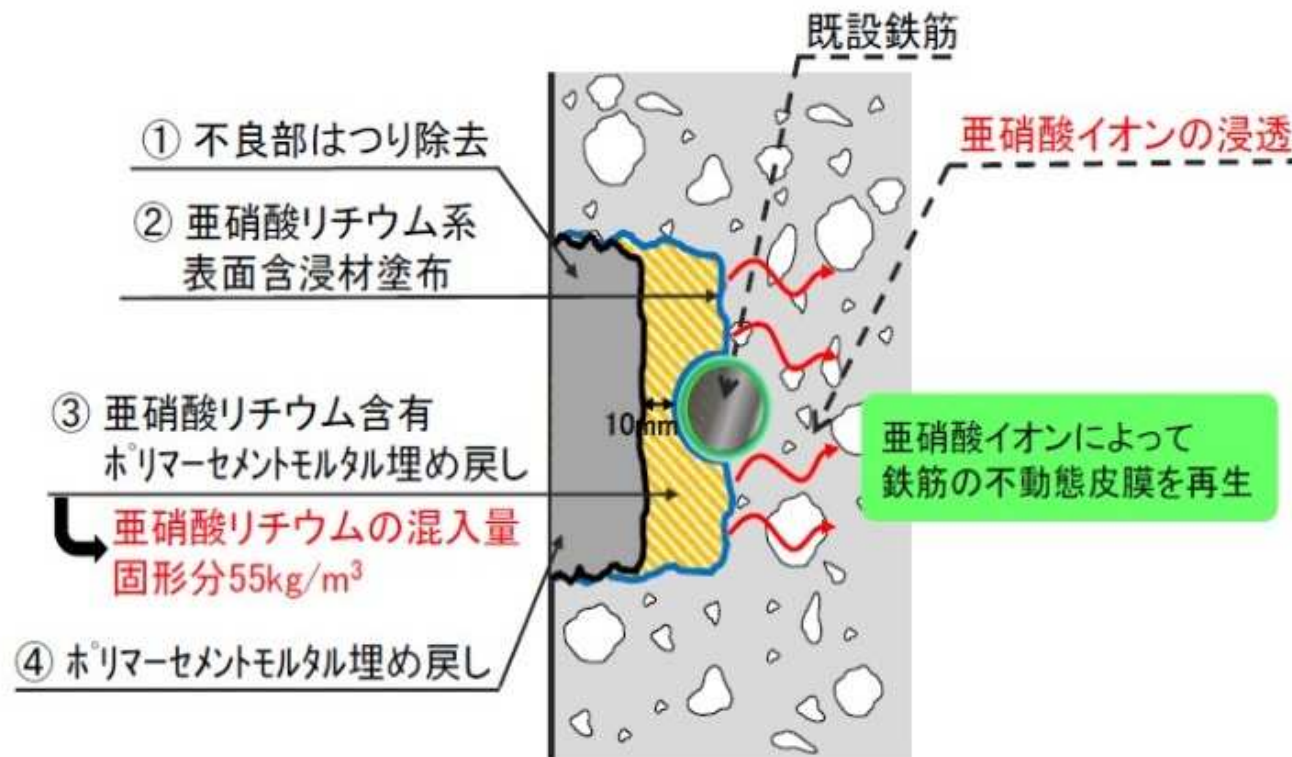
鉄筋表面

- ①不良部はつり除去
- ②『プロコンガードプライマー』(鉄筋防錆剤)塗布
- ③『リハビリペースト』(鉄筋防錆剤)塗布
- ④断面修復材『PSL-40』含有ポリマーセメントモルタル

50mm程度

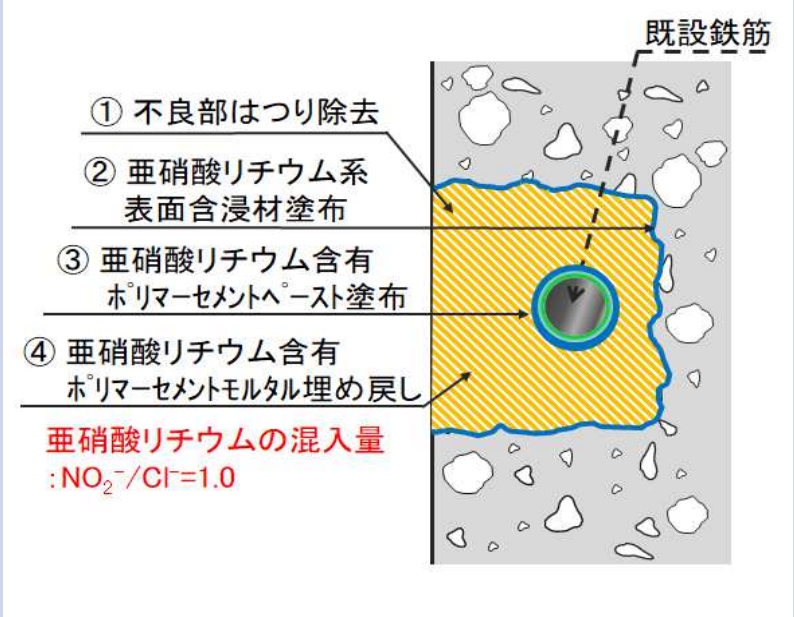
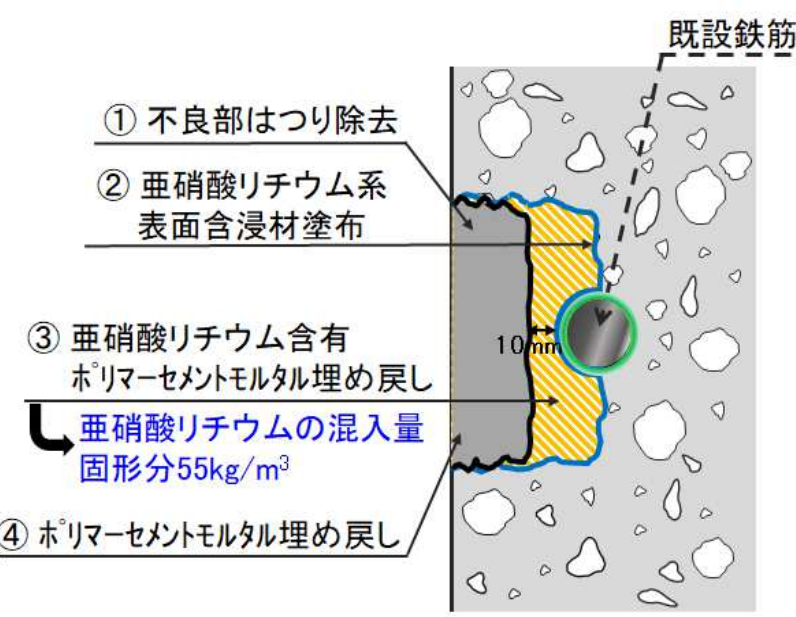
亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

【リハビリ断面修復工法】 NETIS : CG-220003-A



- ①はつり深さは鉄筋を半分程度露出させる程度まで
- ②露出した鉄筋表面をケレンした後、亜硝酸リチウムを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルにて、鉄筋を10mm覆う厚さまで断面を修復する ⇒ 鉄筋防錆
このときの亜硝酸リチウム混入量は137.5kg/m³（固形分で55kg/m³）
- ④残りの表層部分をポリマーセメントモルタルにて埋め戻す

鉄筋背面側コンクリートの脆弱化の状態に応じて2種類

はつり深さ	Type1: 鉄筋背面側まで	Type2: 鉄筋の中心部まで
概念図	 ① 不良部はつり除去 ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布 ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト塗布 ④ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル埋め戻し 亜硝酸リチウムの混入量 : $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- = 1.0$	 ① 不良部はつり除去 ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布 ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル埋め戻し ④ ポリマーセメントモルタル埋め戻し 亜硝酸リチウムの混入量 固形分 $55\text{kg}/\text{m}^3$
概要	1層構造 ① 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル (全範囲)	2層構造 ① 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル (鉄筋を10mm覆う厚さまで) ② ポリマーセメントモルタル単体 (残り範囲)
混入量	塩化物イオン含有量に応じて設定 (塩化物イオンに対してモル比1.0)	プロコン40: $137.5\text{kg}/\text{m}^3$ (亜硝酸リチウム固形分 $55\text{kg}/\text{m}^3$)

Type1, Type2の使い分け

- 亜硝酸リチウム併用型断面修復の仕様は
「鉄筋背面まではつり（Type1、モル比1.0混入）」
を基本方針とする。
 - ただし、このType1を採りにくいケースへの対応策として
「鉄筋半分まではつり（Type2、55kg/m³混入）」
の仕様も選択することができる。
- 例）
- ・ 鉄筋背面まではつり出すと部材としての安全性が確保できない場合
 - ・ 過密配筋等で鉄筋背面側のはつり作業が困難な場合
 - ・ 鉄筋背面側のコンクリートが脆弱化していない場合
など

リハビリ断面修復工の比較検討の例

	Type1: 鉄筋背面側まで	Type2: 鉄筋の中心部まで
概念図	① 不良部はつり除去 ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布 ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト塗布 ④ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル埋め戻し 亜硝酸リチウムの混入量 : $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- = 1.0$	① 不良部はつり除去 ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布 ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル埋め戻し ④ ポリマーセメントモルタル埋め戻し 亜硝酸リチウムの混入量 固形分55kg/m³
はつり深さ	鉄筋背面側まで (例; かぶり50mmの場合で深さ80mm)	鉄筋中心の深さまで (例; かぶり50mmの場合で深さ60mm)
長所	実績が豊富 断面修復材の配合が1種類	はつり作業、断面修復材量を最小化 工期の短縮
短所	はつり作業量が多い 断面修復材量が多い	断面修復材の配合が2種類となる
経済性	235,000円/m ² (材料単価は安いが施工量が多い)	190,000円/m ² (材料単価は高いが施工量が少ない)

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法 『リハビリリカプセル工法』



**REHABILI
プロコン40
リハビリ工法**

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術 NETIS:CG-120005-VR

**簡易型高圧注入
リハビリリカプセル工法**

特 徴

根本的なASR抑制対策！

簡易型高圧注入『リハビリリカプセル工法』は、アルカリシリカ反応(ASR)によって劣化した小規模なコンクリート構造物または部位を根本的に治療する補修技術です。劣化した範囲全体に浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部圧入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを非晶質化するため、以後のASR劣化の進行を根本的に抑制することができます。

効果的な鉄筋防錆対策！

簡易型高圧注入『リハビリリカプセル工法』は、塩害や中性化によって劣化した小規模なコンクリート構造物または部位の鉄筋腐食を効果的に治療する補修技術でもあります。鉄筋近傍のコンクリートに浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部圧入することにより、鉄筋周囲に不動態膜を再生するため、以後の鉄筋腐食反応を効果的に抑制することができます。

簡易な圧入装置にて合理的に補修対策！

簡易型圧入装置『リハビリリカプセル』は、大規模施工用の油圧式圧入装置『リハビリリカプセル』と同等の圧入性能を有する小容量タイプの装置です。したがって、床版やボックスカルバートなど部材厚の小さな構造物の補修や桁梁のみの部分的な補修のように、施工規模が小さい場合に合理的かつ経済的に適用することができます。

施工仕様

圧入装置：カプセル式高圧注入機『リハビリリカプセル』
抑 制 剤：浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』
注 入 量：コンクリートのアルカリ総量(ASRの場合)や塩化物イオン量(塩害の場合)に応じて定量的に決定
圧入圧力：0.1MPa～0.5MPaの範囲内でコンクリートの劣化程度に応じて構造物厚に決定
圧 入 孔：削孔径はφ10mm
削孔間隔は500mmを標準とする
(部材寸法や構造規模に応じて決定)
削孔深さは75mm～250mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはディスクサンダー等により下地処理します。
2. ひび割れ注入口および表面シールを行い、圧入時の『プロコン40』の漏出を防ぎます。
3. 鉄筋検査を行った後に圧入孔を削孔します。
4. リハビリリカプセル、コンプレッサーを設置します。
5. 全圧入孔に対し本加圧注入を行い、『プロコン40』の設計量を内部圧入します。
6. 工事キリ箇所等により全圧入孔を充填します。
7. 表面を仕上げて施工完了です。

施工事例

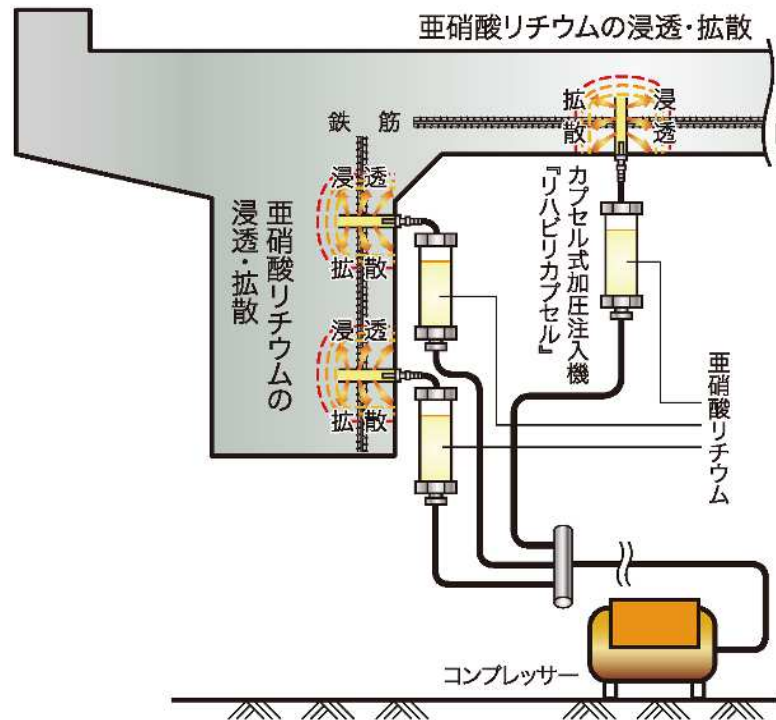
リハビリリカプセル工法施工状況

リハビリリカプセル設置状況

工法概念図

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法

【リハビリカプセル工法】



- ①コンクリートに $\phi 10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 程度の削孔を500mmの間隔で行う
 - ②カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する
- ⇒ 不動態皮膜の早急かつ確実な再生

期待できる性能、効果

基本性能 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

リハビリカプセル工法の施工状況



床版橋への圧入



橋脚への圧入

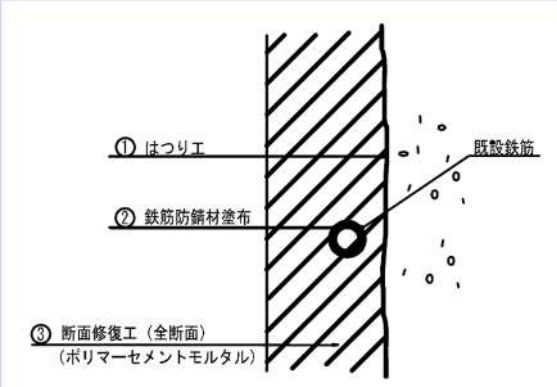
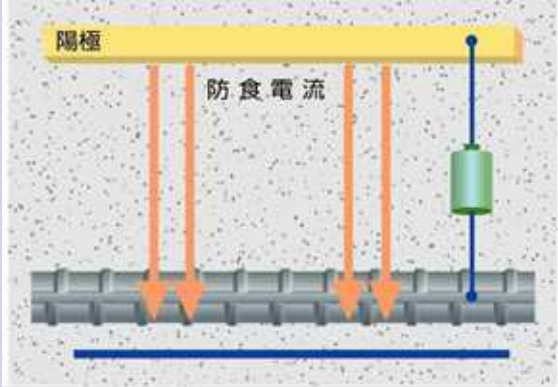
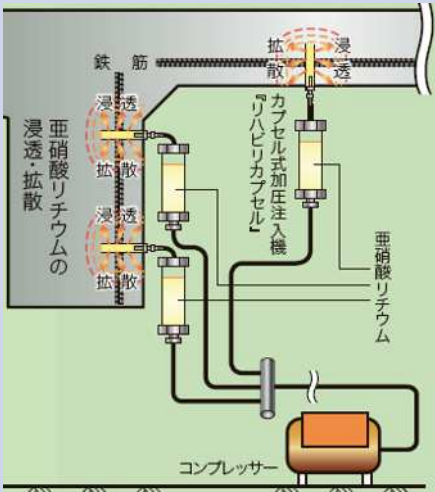


圧入孔の削孔



コンプレッサ

リハビリカプセル工法の比較検討の例

	全断面修復工法	電気防食工法	リハビリカプセル工法
概念図	 ① はつり工 ② 鉄筋防錆材塗布 ③ 断面修復工（全断面） （ポリマーセメントモルタル）	 陽極 防食電流	 鉄筋 浸透・拡散 亜硝酸リチウムの浸透・拡散 カプセル式加圧注入機 リハビリカプセル 亜硝酸リチウム コンプレッサー
特長	浮き剥離箇所以外も全て断面修復する	防食電流の通電により、鉄筋腐食を確実に停止	破壊された不動態皮膜を確実に再生修復する
長所	塩化物イオンも除去 メンテナンスは不要	はつり範囲は最小限 理論的信頼性が高い	はつり範囲は最小限 メンテナンスは不要
短所	はつり深さはかぶり次第 施工時の安全性に懸念	メンテナンスが必要	PCへの適用不可
経済性	150,000～ 200,000円/m ²	90,000～ 150,000円/m ²	70,000～ 90,000円/m ²

※概算工事費はあくまで目安であり、物件毎に積算が必要です。

亜硝酸リチウム内部圧入工法 『リハビリ圧入工法』



**REHABILI
プロコン40
リハビリ工法**

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術

**油圧式高圧注入
ASRリチウム工法**

特徴

根本的なASR抑制対策！
油圧式高圧注入「ASRリチウム工法」は、アルカリシリカ反応（ASR）によって劣化したコンクリート構造物を根本的に治療する補修技術です。コンクリート部材全体に浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部圧入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを非晶化するため、以後のASR劣化の進行を根本的に抑制することができます。

効果的な鉄筋防食対策！
油圧式高圧注入「ASRリチウム工法」は、塩害や中性化によって劣化したコンクリート構造物の鉄筋腐食を効果的に治療する補修技術でもあります。鉄筋近傍のコンクリートに浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部圧入することにより、鉄筋周囲に不動態被膜を再生するため、以後の鉄筋腐食反応を効果的に抑制することができます。そのため、ASRと塩害による複合劣化対策としても効果的です。

施工仕様

圧入装置：油圧式圧入装置「リハビリ圧入機」
 抑制剤：浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液「プロコン40」
 注 入 量：コンクリートのアルカリ総量（ASRの場合）や塩化割合イオン量（塩害の場合）に応じて定量的に決定
 注入圧力：0.5MPa～1.5MPaの範囲内でコンクリートの劣化程度に応じて構造物布に決定
 圧 入 孔：圧入径はφ10mmまたはφ20mm（配孔深さに応じて決定）
 配孔間隔は500mm～1,000mm（部材寸法や構造状態に応じて決定）
 配孔深さは300mm～4,000mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはディスクサンダー等により下地処理します。
2. ひび割れ注入および表面シーリングを行い、圧入時の「プロコン40」の漏れを防ぎます。
3. 鉄筋検査を行った後に圧入孔を配孔します。
4. リハビリ圧入機、制圧ホース、加圧バックカーを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験加圧注入工を行い、圧入工の適合性を評価します。
6. 全圧入孔に対し一斉に本加圧注入工を行い、「プロコン40」の設計量を内部圧入します。
7. 無収縮グラウト材により全圧入孔を充填します。
8. 表面を仕上げて施工完了です。

補修効果の検証

ASRリチウム工法によるASR補修を行う場合、本工法による補修効果は施工前後の残存膨張量を比較することによって定量的に評価することができます。

ASRリチウム工法施工前後の残存膨張量試験結果（JC-DO2法）の例

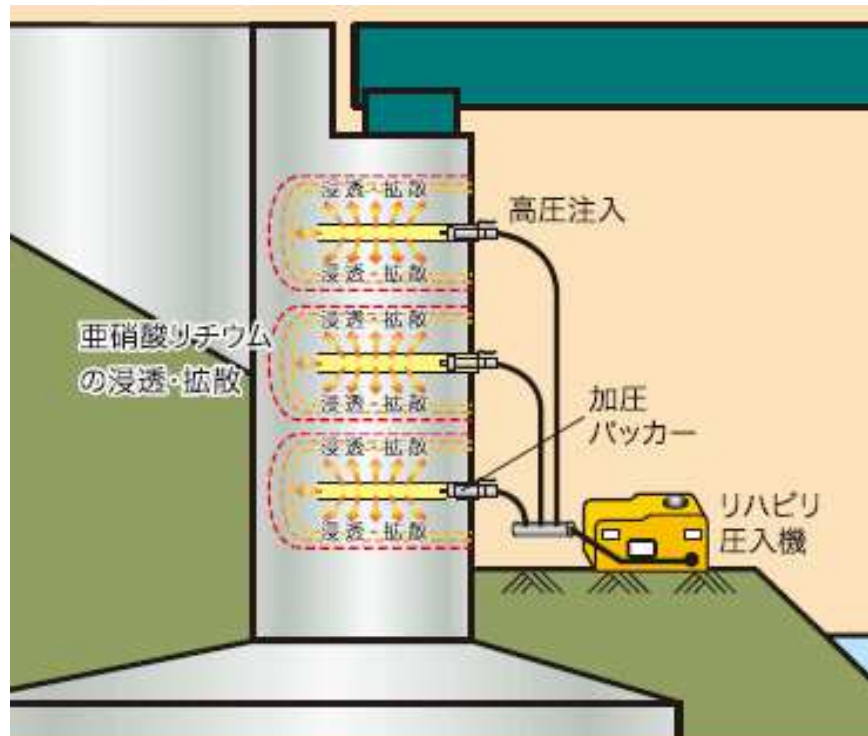
工法概念図

施工事例

橋梁のASR補修事例 橋脚（はり部）のASR補修事例
 橋脚（はり部）のASR補修事例 大生伏橋梁によるASR劣化を抑制する事例

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【リハビリ圧入工法】



- ①コンクリートに $\phi 20\text{mm}$ の削孔を750mm間隔で行う
- ②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する

⇒ アルカリシリカゲルの非膨張化

期待できる性能、効果

基本性能 : 『リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化』

リハビリ圧入工法の施工状況



橋脚への圧入



橋台への圧入

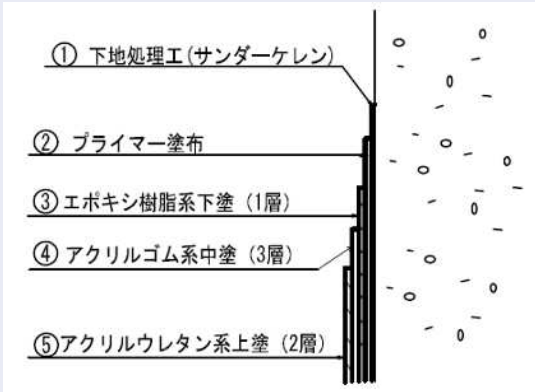
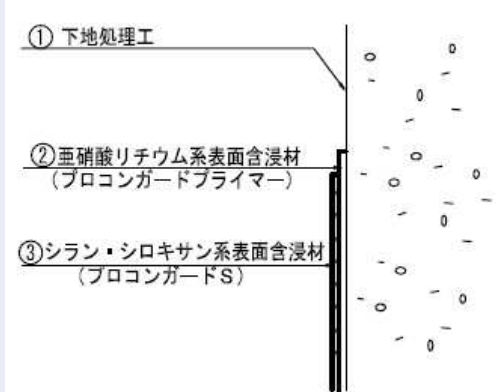
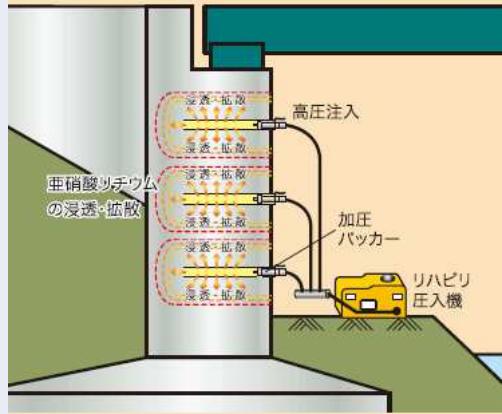


圧入孔の削孔



圧入装置

リハビリ圧入工法の比較検討の例

	ひび割れ注入工法 ＋ 表面被覆工法	ひび割れ注入工法 ＋ 表面含浸工法	ひび割れ注入工法 ＋ リハビリ圧入工法
シナリオ	再劣化と再補修を繰り返す		再劣化を許容しない
概念図	 ① 下地処理工(サンダーケレン) ② プライマー塗布 ③ エポキシ樹脂系下塗 (1層) ④ アクリルゴム系中塗 (3層) ⑤ アクリルウレタン系上塗 (2層)	 ① 下地処理工 ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材 (プロコンガードプライマー) ③ シラン・シロキサン系表面含浸材 (プロコンガードS)	 高圧注入 加圧 パッカー リハビリ 圧入機
特長	水分侵入を抑制	水分侵入を抑制	ASRゲルを非膨張化
長所	ひび割れ追随性がある	モニタリング性に優れる	ASR膨張を確実に抑制
短所	ASR膨張は止まらない モニタリング性に劣る	ASR膨張は止まらない ひび割れ追随性はない	インシャルコストが高価
経済性	インシャルコスト: 安価 LCC: 高価	インシャルコスト: 安価 LCC: 高価	インシャルコスト: 高価 LCC: 安価

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法 『リハビリ床版防水工法』

[illegible]

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法のコンセプト

【床版防水工の重要性】

- ・ 水はコンクリート構造物のあらゆる劣化の劣化因子
- ・ 床版防水工がないと、床版の鉄筋は腐食環境に陥りやすい



道路橋の維持管理には床版防水工が極めて重要

【亜硝酸リチウムとの併用効果】

- ・ 凍結防止剤を散布する路線では塩化物イオンによる鉄筋腐食
- ・ 単に水分を遮断するだけでなく、鉄筋防錆効果をプラス



亜硝酸リチウム塗布 + 床版防水工
『リハビリ床版防水工法』

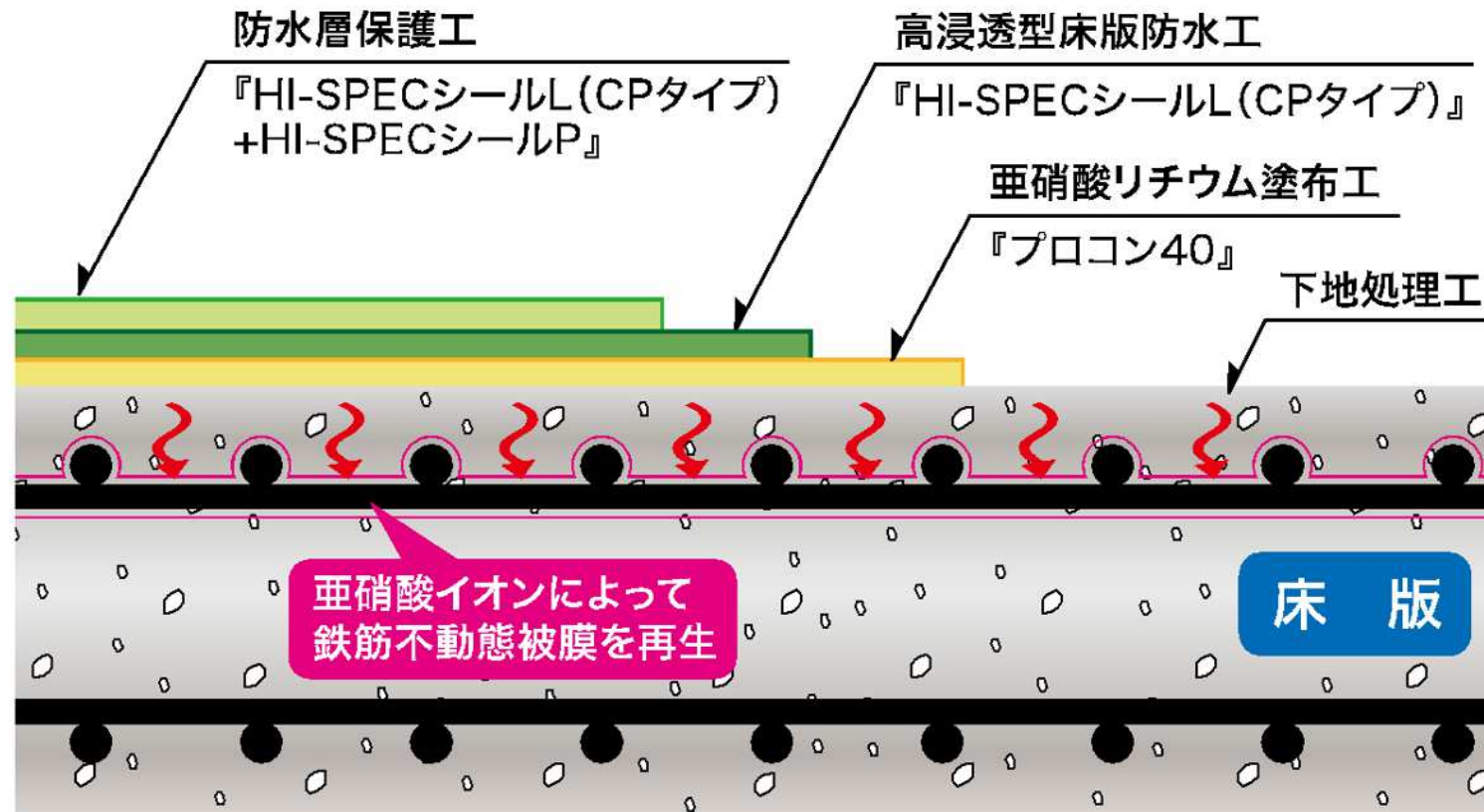
亜硝酸リチウム併用型床版防水工法

【リハビリ床版防水工法】

種別	コンクリート舗装用	一般舗装用塗膜型
概念図		
概要	小規模橋梁に多いコンクリート舗装に対し、コンクリート面に直接適用する床版防水工法	一般橋梁に多いアスファルト舗装に対し、舗装の下床版コンクリート面に適用する床版防水工法
備考	2024年11月より施工開始	性能確認試験の最終段階

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（コンクリート舗装用）

【工法概念図】



【期待される効果】

- ・ 水分侵入の抑制
- ・ 微細なひび割れの閉塞
- ・ 鉄筋腐食抑制（不動態皮膜の再生）

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（コンクリート舗装用）

【特徴】

オールインワン型防水材6つの特徴！

- 低温下でも極低粘度(10~20mpa・s)の水性エポキシ樹脂で高い防水性を発揮します。
- 幅0.1mm~2.0mm程度のひび割れに対して浸透・充填し、コンクリート舗装表面のひび割れを補修します。
- コンクリート舗装表面に塗布します。
- 施工性がよく早期の交通開放が可能です。
- 耐摩耗性、すべり抵抗性に優れています。
- VOCを一切使用しない、完全な水性塗料です。

亜硝酸リチウムによる塩害・中性化抑制効果の付与！

- 塩害、中性化で劣化したコンクリート構造物に適用する場合、プロコン40(亜硝酸リチウム40%水溶液)に含まれる亜硝酸イオンが鉄筋位置まで浸透、拡散することで、鉄筋の不動態皮膜を再生して防錆環境を形成し、以後の鉄筋腐食の進行を抑制します。
- 特に塩害補修の場合は亜硝酸イオン供給量(プロコン40塗布量)を塩化物イオン量に応じて定量的に設定することができます。

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（コンクリート舗装用）

【施工例】

名称：矢賀橋

場所：広島県安芸高田市

環境：凍結防止剤散布

時期：2024年3月



施工前状況

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（コンクリート舗装用）

【施工例】



① 下地処理工

- サンダーケレン・高圧洗浄などで既設舗装上の汚れなどを入念に除去する。



② 亜硝酸リチウム塗布工

- 刷毛及びローラー等で『プロコン40』を規定量（標準塗布量 $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ ）を塗布する。

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（コンクリート舗装用）

【施工例】



③高浸透型床版防水工

- ローラー・万能刷毛等で『HI-SPECシールL(CPタイプ)』を規定量(標準塗布量 0.25kg/m^2)塗布する。

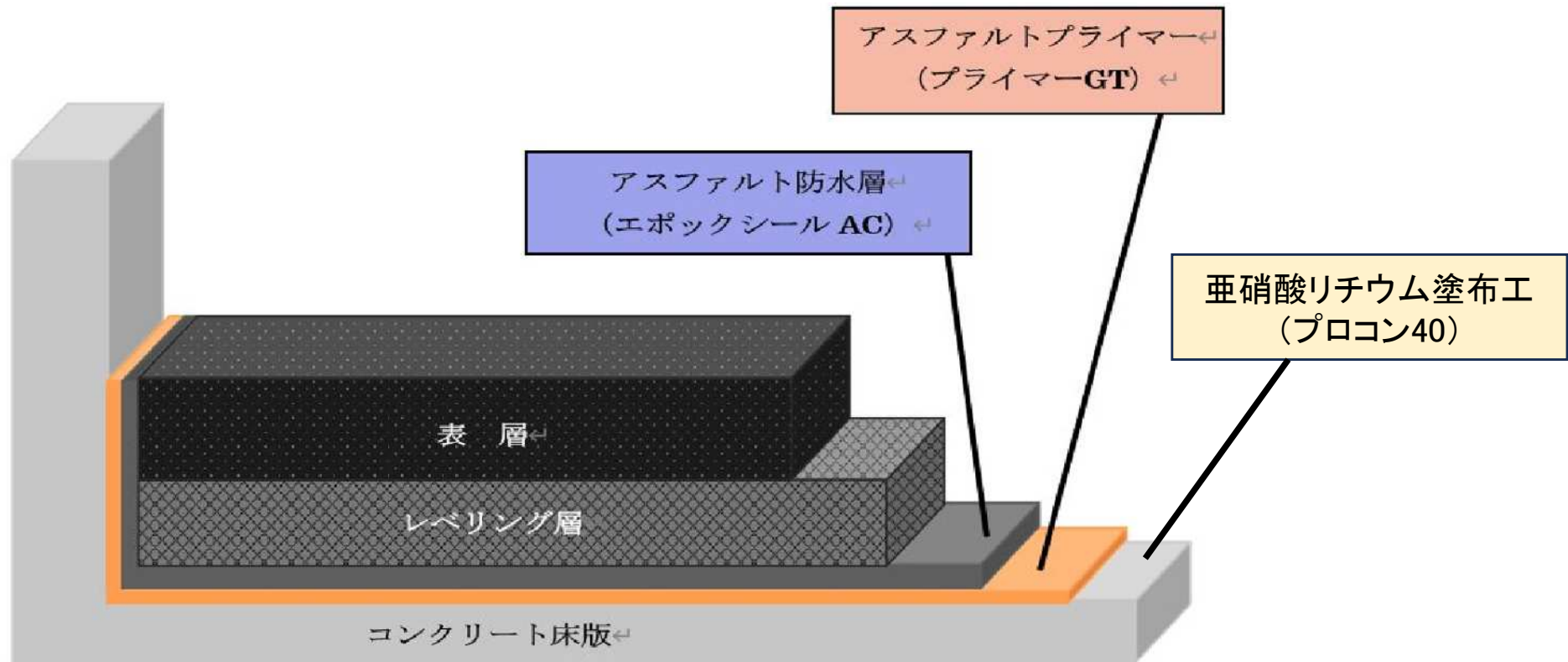


④防水層保護工

- ローラー・自在ホーキ、レーキ等で『HI-SPECシールL(CPタイプ)+HI-SPECシールP』を規定量(標準塗布量 0.8kg/m^2)塗布する。

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（一般舗装用塗膜型）

【工法概念図】



【期待される効果】

- ・ 水分侵入の抑制
- ・ 鉄筋腐食抑制（不動態皮膜の再生）

亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（一般舗装用塗膜型）

【性能確認実験】

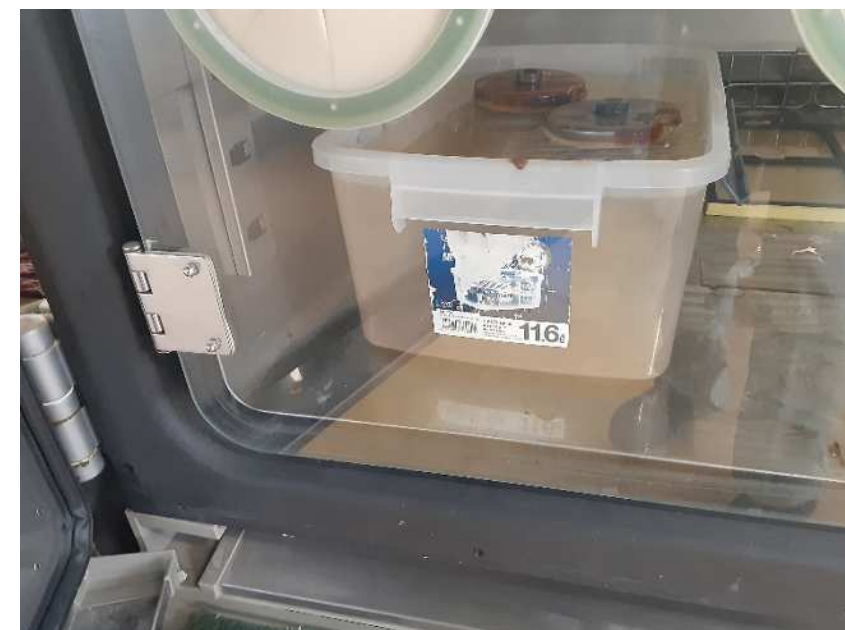
試験概要

- ・下地：コンクリート平板（JIS板）
- ・プロコン40の塗布量：0.2～0.3kg/m²
- ・プライマーの塗布量：0.2 kg/m²
- ・エポックシールACの塗布量：1.2kg/m²



亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（一般舗装用塗膜型）

【性能確認実験】



亜硝酸リチウム併用型床版防水工法（一般舗装用塗膜型）

【性能確認実験】 道路橋床版防水便覧に記載の「基本照査試験」を全てクリア

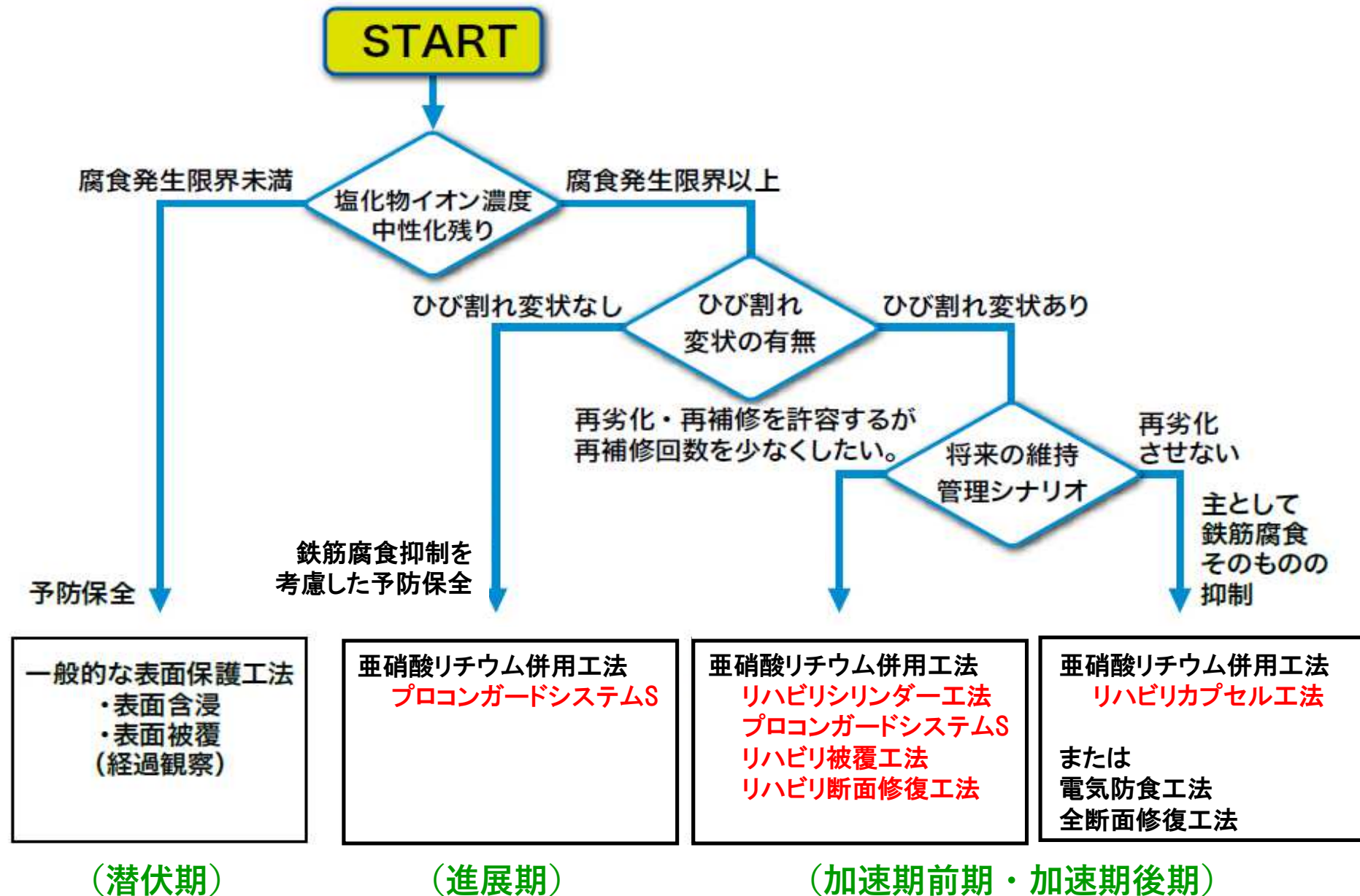
試験項目		温度 ℃	試験結果	基準値・判断基準	合否判定
防水性試験Ⅱ		23	漏水なし	漏水がないこと	合格
ひび割れ追従性試験Ⅰ	ひび割れ幅	-10	床版防水材料の折損なし	床版防水材料の折損が生じないこと	合格
引張接着性試験	強度	23	1.3(N/mm ²)	0.6(N/mm ²)以上	合格
		-10	2.3(N/mm ²)	1.2(N/mm ²)以上	合格
せん断試験	強度	23	0.6(N/mm ²)	0.15(N/mm ²)以上	合格
	変位量		3.0mm	1.0mm以上	合格
	強度	-10	3.1(N/mm ²)	0.8(N/mm ²)以上	合格
	変位量		1.4mm	0.5mm以上	合格
水浸引張接着性試験	強度比	23	77%	水浸前の50%以上	合格
耐薬品性試験 ①飽和水酸化カルシウム溶液 ②3%塩化ナトリウム溶液		23	①異常なし ②異常なし	異常のないこと	合格

§ 3 . 橋梁長寿命化のための 補修工法選定の考え方

- 塩害・中性化の補修工法選定フロー
- ASRの補修工法選定フロー

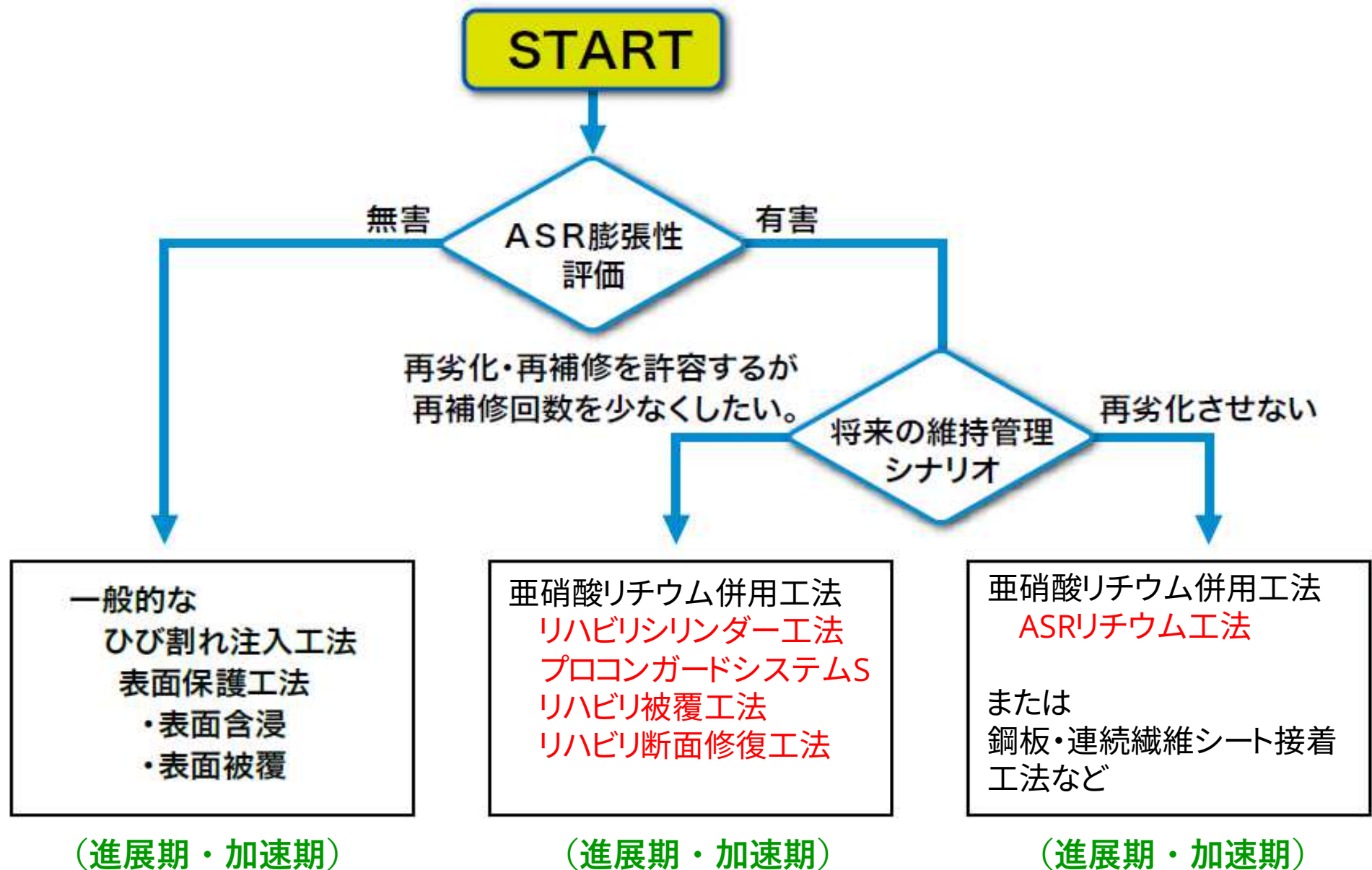
劣化機構に応じた補修工法の選定

【塩害・中性化補修の場合】



劣化機構に応じた補修工法の選定

【ASR補修の場合】



工学的な 判断

- ・ 構造物の**変状の種類**に応じて補修工法を選定する
⇒ さまざまな補修工法に亜硝酸リチウムを併用可能
- ・ 各劣化の**メカニズム**に応じて必要な性能を考える
⇒ 不働態皮膜再生、ASRゲル非膨張化

&

時間軸の 判断

- ・ 再劣化と再補修を繰り返す**維持管理シナリオ**を選択
⇒ 必要最小限の各工法に亜硝酸リチウムを併用することで、再劣化までの期間を少しでも長く
- ・ 再劣化を許容しない**維持管理シナリオ**を選択した
⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入を選択することにより、劣化進行の根本的な抑制が可能



『これら全てを駆使して構造物の長寿命化を図る』

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2024

講演動画配信のお知らせ

本年度は会場参加型のフォーラムを開催いたしましたが、会場参加出来なかった方のために、オンラインによる講演動画(CPDプログラム)を配信いたします。

- ・参加費 : 無料
- ・開催期間 : 2024年10月1日～2025年3月31日
- ・講演動画配信ページ : 下記URLより
<https://www.j-cma.jp/?cn=101043>

ご清聴ありがとうございました



一般社団法人

コンクリートメンテナンス協会

<https://www.j-cma.jp/>

END