

亜硝酸リチウムを活用した コンクリート補修技術の最前線

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

専務理事/技術委員長 江良和徳

主要内容

1. 亜硝酸リチウムとは

- 亜硝酸イオンの効果
- リチウムイオンの効果
- 亜硝酸リチウムの必要量

2. 亜硝酸リチウムを活用した補修技術

- 表面含浸工法
- ひび割れ注入工法
- 断面修復工法
- 簡易型内部圧入工法
- 内部圧入工法
- 施工実績の推移

3. 亜硝酸リチウムを活用した新たな取り組み

- 床版防水工法
- グラウト再注入工法
- 軍艦島での試験施工
- 海外での適用事例
- 新設時の初期ひび割れへの対応

1. 亜硝酸リチウムとは

亜硝酸リチウムの基礎知識

- ①亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果
- ②リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

亜硝酸イオン



不動態皮膜の再生により
鉄筋腐食を抑制



塩害・中性化 対策

リチウムイオン



アルカリシリカゲルを
非膨張化

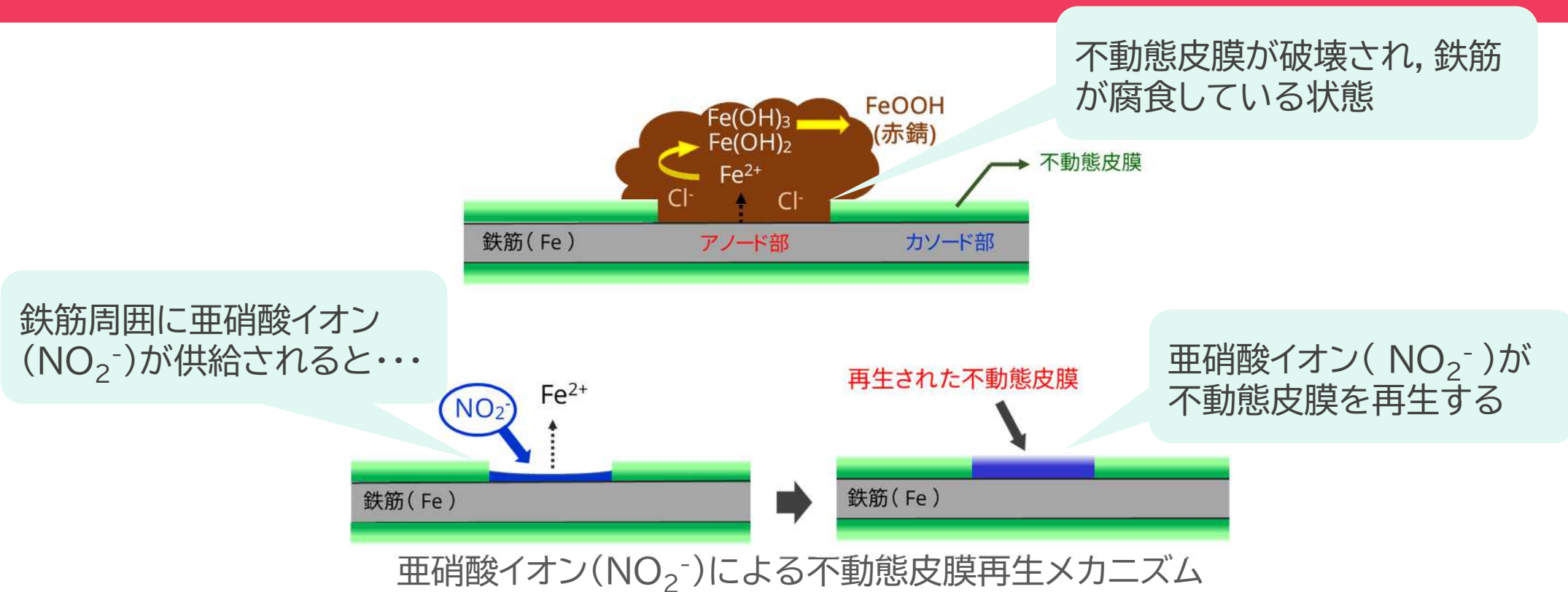


ASR 対策

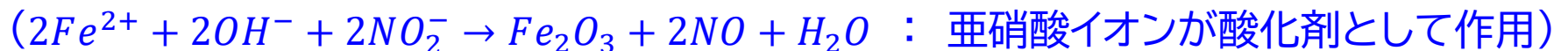


- ・亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有する水溶液
- ・原材料は「天然ガス」と「リシア輝石」
- ・濃度は40%(限界濃度)
- ・コンクリートメンテナンス協会では黄色透明の浸透拡散型亜硝酸リチウムを全ての工法に適用する

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果



- ・亜硝酸イオンにより鉄筋の不動態皮膜が再生され、鉄筋腐食が抑制される



- ・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

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果

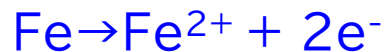
1. 健全な状態から不動態皮膜の破壊へ

- ・コンクリート中の鉄筋は、強アルカリ環境下で表面に非常に緻密な「不動態皮膜」が形成されており、腐食から保護されている。
- ・しかし、外部から塩化物イオン(Cl^-)が浸透し、腐食発生限界濃度を超えると、不動態皮膜が局部的に破壊される。



2. 腐食の開始と進行(アノード反応)

- ・不動態皮膜が破壊された箇所(アノード部)は無防備な状態となり、鉄が電子を失って鉄イオンとして溶け出す酸化反応が始まる。



- ・この溶け出した鉄イオン(Fe^{2+})が水や酸素と反応することで、体積膨張を伴う脆弱な赤錆(FeOOH など)へと変化し、コンクリートのひび割れや剥落を引き起こす。

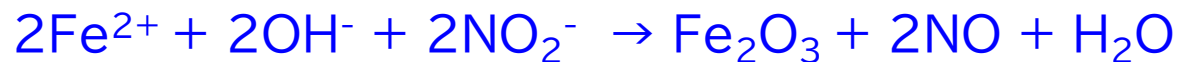


亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果



3. 亜硝酸イオンによる不動態皮膜の再生

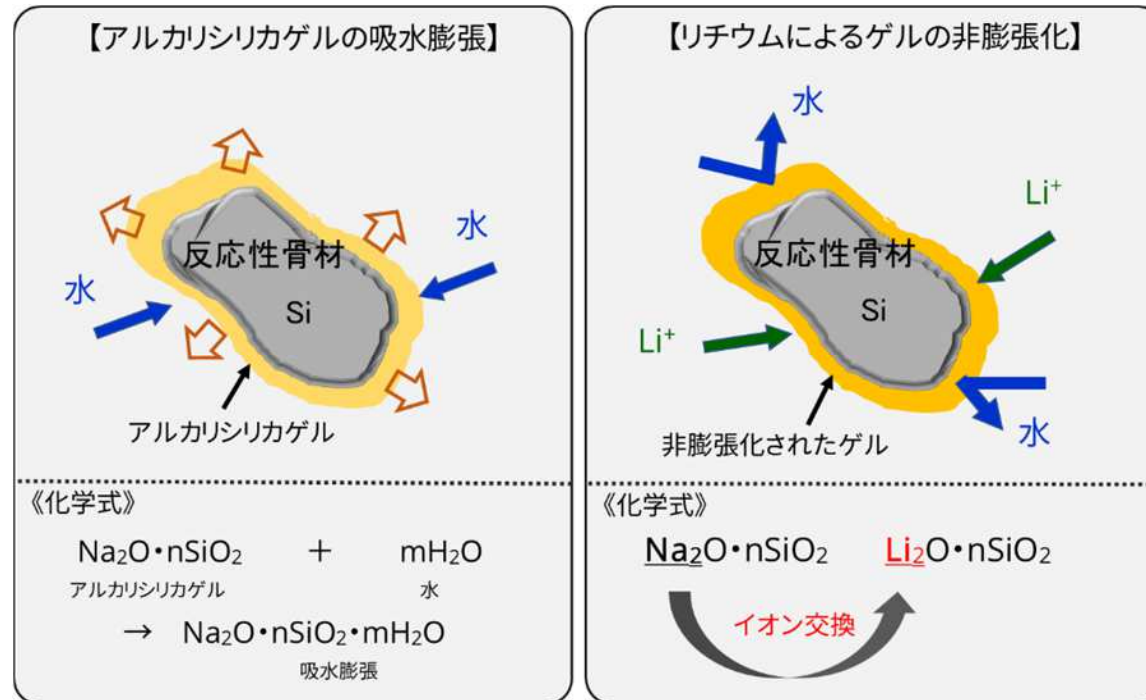
- ・ここで、コンクリート内部の鉄筋周辺に亜硝酸イオン(NO_2^-)が供給されると、防食メカニズムが働く。
- ・亜硝酸イオンは強力な酸化剤としての性質を持っており、鉄イオンが赤錆に変化して構造を破壊する前に、アノード部で鉄イオンと優先的に化学反応を起こす。



4. 腐食反応の終息

- ・この化学反応によって、皮膜が欠損していた鉄筋表面に再び緻密で安定した酸化鉄の層が形成される。
- ・つまり、亜硝酸イオンが「破壊された不動態皮膜を化学的に修復(再生)」する役割を果たす。
- ・不動態皮膜が連続性を保って再生されることで、鉄の溶出(アノード反応)が根元から遮断され、それ以上の腐食の進行を長期間にわたって抑制することが可能となる。

リチウムイオンによるASR膨張抑制効果



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

- ・リチウムイオンにより、アルカリシリカゲルが非膨張化される
- ・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

リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

1. ASRゲルの生成と膨張(健全性の喪失)

- ・コンクリート内部の強アルカリ環境下において、細孔溶液中のアルカリ金属イオン(主に Na^+ や K^+)および水酸化物イオン(OH^-)が、骨材中の反応性シリカと反応し、「アルカリシリカゲル」を生成する。
- ・このゲルが外部から水分を吸収して著しく体積膨張することで、コンクリート内部に強大な膨張圧をもたらし、表面に特有の網目状のひび割れを発生させる。



2. リチウムイオンの供給と優先的な反応

- ・ここにリチウムイオン(Li^+)が供給されると、抑制メカニズムが働き始める。
- ・リチウムイオンはイオン半径が小さく反応性が高いため、 Na^+ や K^+ といった他のアルカリ金属イオンよりも優先して骨材中の未反応シリカ、あるいはすでに生成されてしまったアルカリシリカゲルと化学反応を起こす。



リチウムイオンによるASR膨張抑制効果



3. 非膨張性ゲルへの改質(膨張の無害化)

- ・リチウムイオンがシリカと結合することで、吸水膨張を引き起こすアルカリシリカゲルは、「非膨張性のゲル」という全く性質の異なる物質へと変化(改質)する。
- ・この非膨張性のゲルは、周囲に豊富な水分が存在していても吸水膨張性を示さないため、現在進行中のゲルの膨張が無害化される。



4. 保護バリアの形成(反応の終息)

- ・さらに、反応性骨材の表面に形成された非膨張性のゲルは、それ自体が緻密な保護被膜(物理的・化学的バリア)として機能する。
- ・この強固なバリアが、未反応のシリカ鉱物に対するアルカリイオンや水分の新たな接触を遮断するため、新たなアルカリシリカゲルの生成が抑制され、構造物の膨張劣化が長期間にわたって抑制する。

亜硝酸リチウム必要量の考え方

【塩害の場合】

- ・鉄筋腐食を抑制しうる亜硝酸イオンの量
- ・ $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0となる量
- ・コンクリート中の塩化物イオン含有量(試験値)に応じて算定
例)塩化物イオン $5.0\text{kg/m}^3 \Rightarrow$ 亜硝酸リチウム 18.67kg/m^3

【中性化の場合】

- ・鉄筋腐食を抑制しうる亜硝酸イオンの量
- ・過去の経験により一定量とする
- ・一律で亜硝酸リチウム 7.42kg/m^3

【ASRの場合】

- ・アルカリシリカゲルの膨張を抑制しうるリチウムイオンの量
- ・ $[\text{Li}^+]/[\text{Na}^+]$ モル比=0.8となる量
- ・コンクリート中のアルカリ含有量(試験値)に応じて算定
例)アルカリ含有量 $4.0\text{kg/m}^3 \Rightarrow$ 亜硝酸リチウム 13.67kg/m^3

※上記の「亜硝酸リチウム」の量は「亜硝酸リチウム40%水溶液」としての量を示す

コンクリート診断士試験での出題傾向（亜硝酸リチウム）

【ERA調べ】

年度	設問	出題内容
2025年	択一式	・(写真)変状に対する対策工選定：選択肢に「塗布型防錆材」
2024年	択一式	・アルカリシリカ反応の膨張特性：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」

12

2. 亜硝酸リチウムを活用した補修技術

亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針(案) 第3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3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



2025年6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， 櫛原弘貴，
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

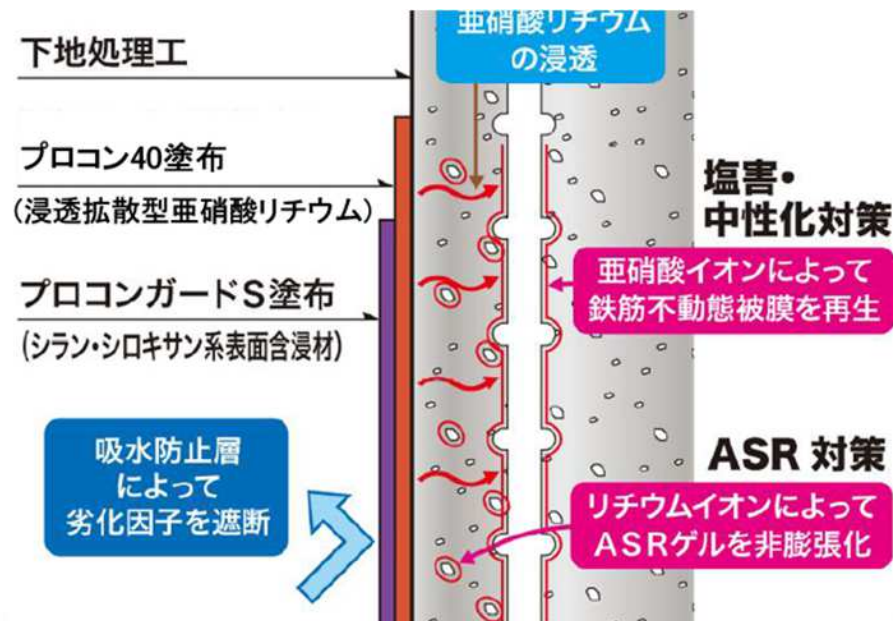
総ページ数：213頁
定価：¥3,800円

14

『プロコンガードシステムS』



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-VR



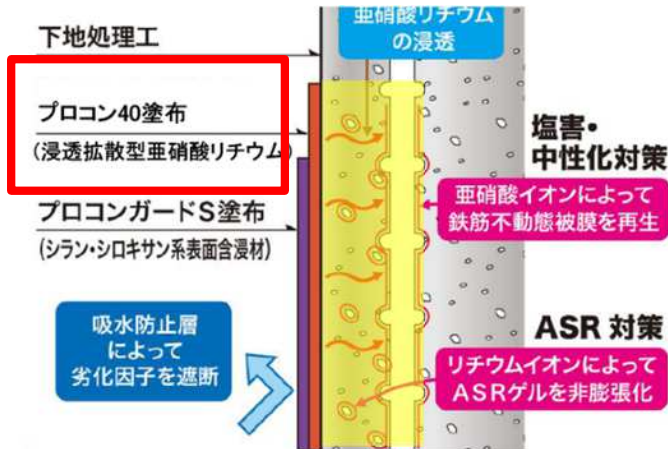
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウムを塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③シラン・シロキサン系含浸材を塗布し、撥水層を形成する ⇒ 劣化因子の遮断

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』

【設計塗布量】



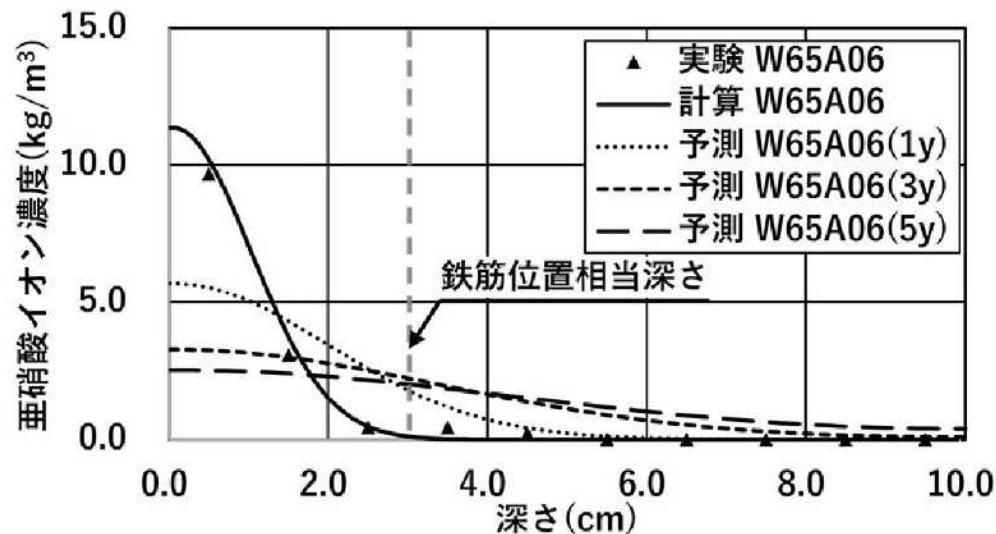
- ・亜硝酸リチウム標準塗布量 0.3kg/m^2
- ・塩害の場合には、 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比 $=1.0$ で必要量を算定できる。
- ・塗布した亜硝酸リチウムが鉄筋位置まで浸透した状態を仮定して塗布量を決める。
- ・下表にて簡易に設定することもできる。

『目標含浸深さ』と『塩化物イオン量』をパラメータとした設計塗布量の目安

塩化物イオン量 深さ	2.0kg/m ³ 未満	2.0～3.0kg/m ³	3.0～4.0kg/m ³	4.0～5.0kg/m ³	5.0kg/m ³ 以上
20mm 未満	0.30kg/m ²	0.30kg/m ²	0.30kg/m ²	0.40kg/m ²	要検討
20～30mm	0.30kg/m ²	0.40kg/m ²	0.50kg/m ²	0.60kg/m ²	要検討
30～40mm	0.30kg/m ²	0.50kg/m ²	0.60kg/m ²	0.80kg/m ²	要検討
40～50mm	0.40kg/m ²	0.60kg/m ²	0.80kg/m ²	1.0kg/m ²	要検討
50mm 以上	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討

【亜硝酸イオンの拡散予測の例】

- 亜硝酸リチウム塗布による亜硝酸イオンの浸透については、過去の実験的な検討から、「**コンクリートの水セメント比**」や「**塗布量**」に影響を受けることがわかっている。
- 例えば、 $W/C=0.65$ 、塗布量 0.6kg/m^2 の場合、塗布後3ヶ月時点の浸透深さの**実測値**から**計算した拡散係数に基づきシミュレーション**をした結果、塗布後約1年後には亜硝酸イオンが深さ35mmに到達する予測となる。※



図ー7 亜硝酸イオン濃度分布予測 (W/C=0.65)

※ 亜硝酸リチウム塗布による亜硝酸イオンの拡散性状に関する検討; 徳納新也・竹田宣典・江良和徳, コンクリート工学年次論文集. 2026

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-VR



写真 4-1 下地処理工の施工状況



写真 4-2 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布工の施工状況



写真 4-3 コンクリート表面水分率の測定状況



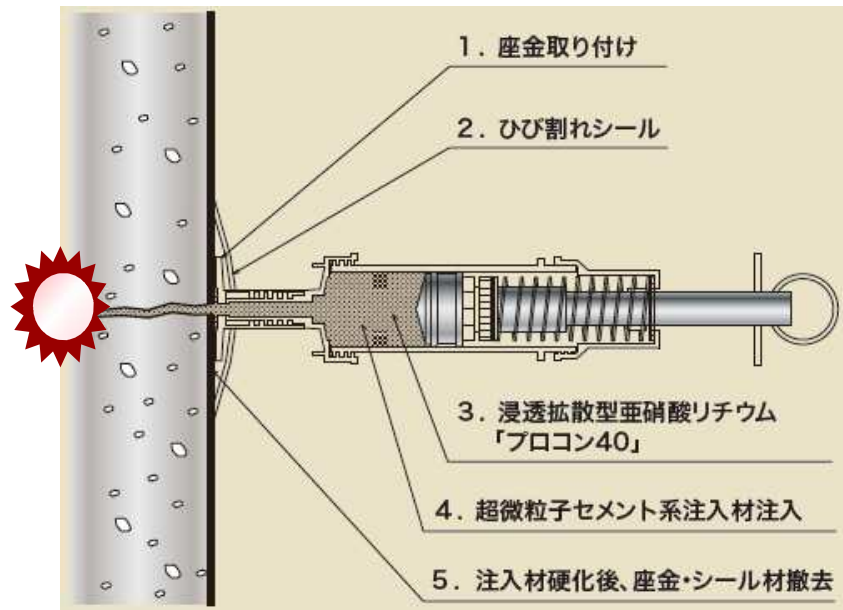
写真 4-4 シラン・シロキサン系表面含浸材塗布工の施工状況

2.2 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』



20

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』 NETIS:CG-110017-A(掲載終了)



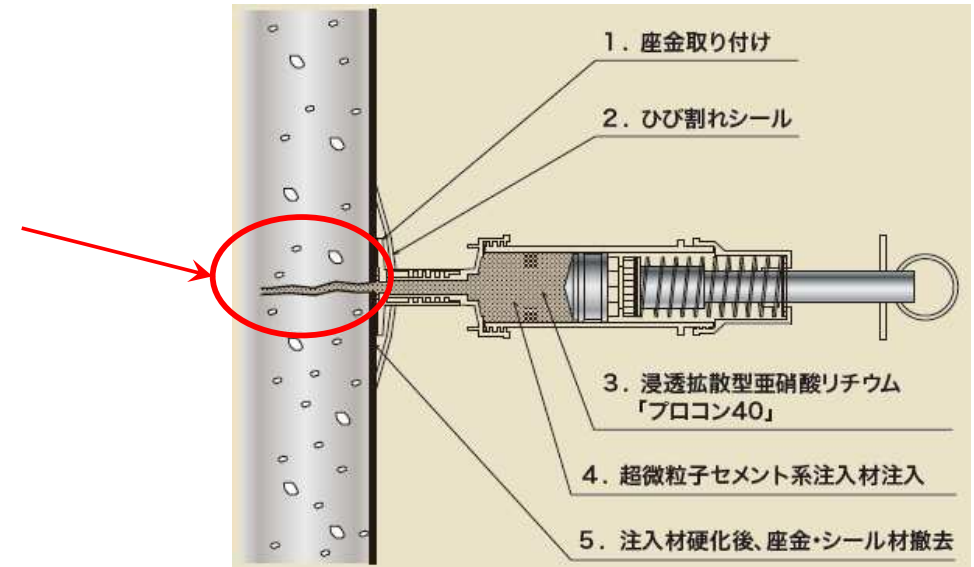
- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウムを先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

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』

【設計注入量】

- ・ひび割れ注入工における注入材の注入量はひび割れ空間体積で物理的に決まる。
- ・塩化物イオン量やアルカリ含有量に応じた定量的な算定はできない。



【ひび割れ注入材の注入量算定のために】

- ・ひび割れの幅、深さ、延長よりひび割れ空間体積を推定する
⇒ひび割れ体積に物理的に注入し得る量を注入量とする
- ・ひび割れ深さは推定値となる
⇒JCMAではひび割れ幅の200倍と仮定して算定している

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』 NETIS:CG-110017-A(掲載終了)



写真 4-2 座金取り付け工の施工状況

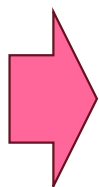


写真 4-3 ひび割れシール工の施工状況



写真 4-4 浸透拡散型亜硝酸リチウム先行注入の施工状況



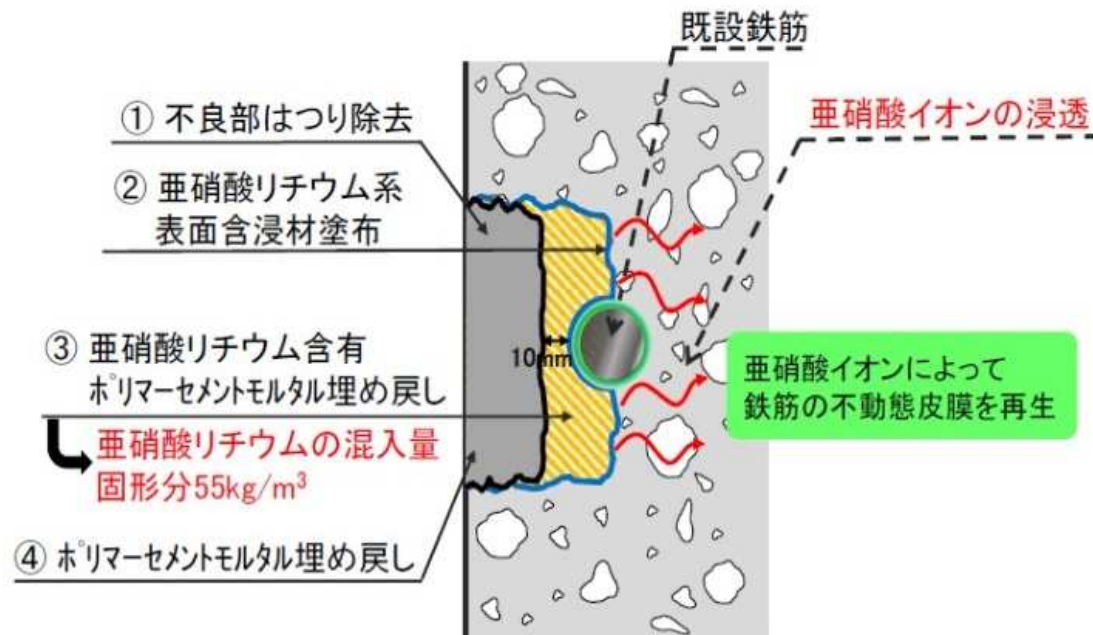
写真 4-5 超微粒子セメント系ひび割れ注入材本注入の施工状況

2.3 亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

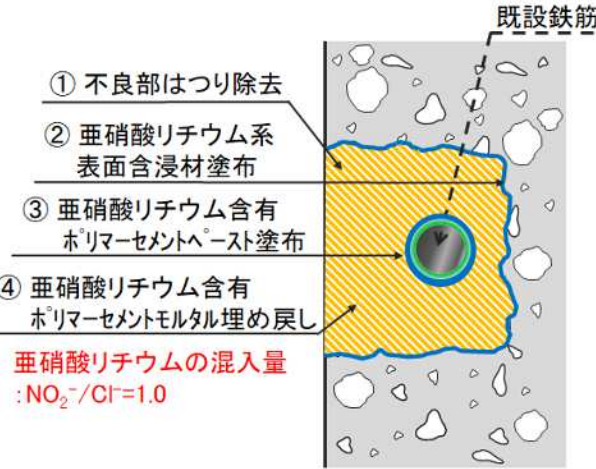
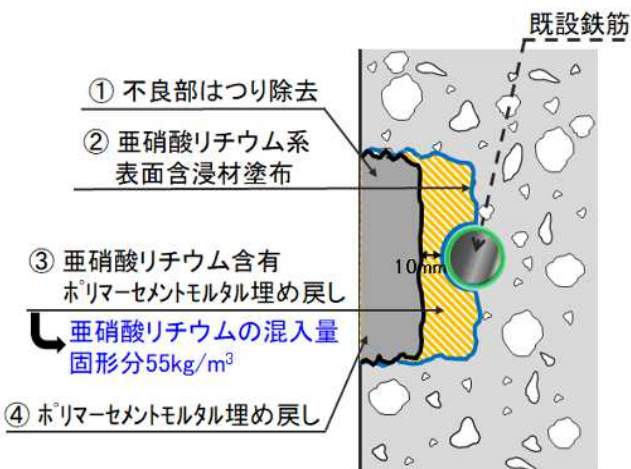
『リハビリ断面修復工法』



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

仕様	Type 1	Type 2
はつり深さ	鉄筋背面まで	鉄筋の中心まで
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 亜硝酸リチウムの混入量 固形分 55kg/m^3 ④ ポリマーセメントモルタル埋め戻し 
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
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 $\text{モル比}1.0$ として算出)	塩化物イオン含有量に関わらず一律(亜硝酸リチウム $\text{固形分}55\text{kg/m}^3$)

【Type2による断面修復後の自然電位の計測例】

- 腐食した鉄筋を有する供試体を、Type2仕様による断面修復を施した。
- 補修後、自然電位を600日間計測した結果、電位の貴化が認められた。

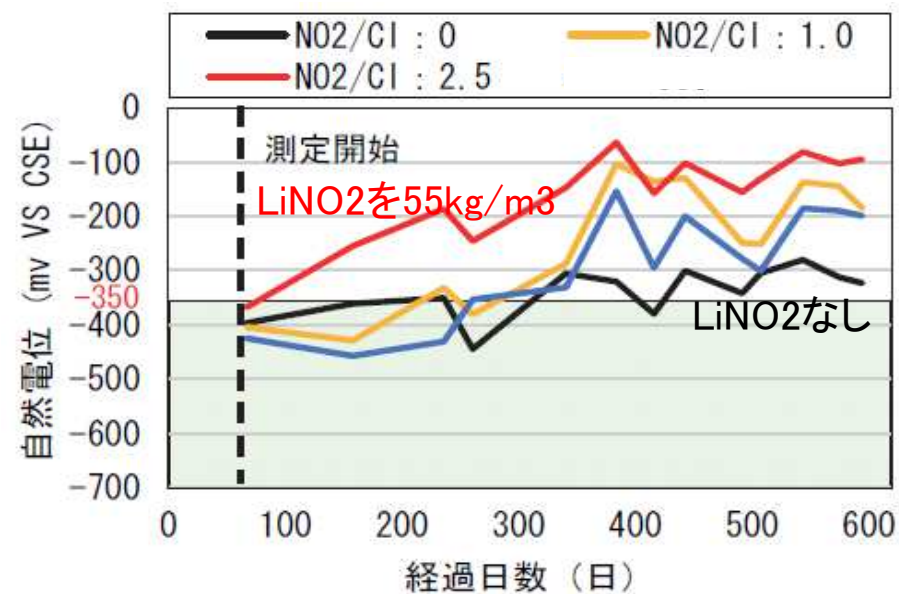
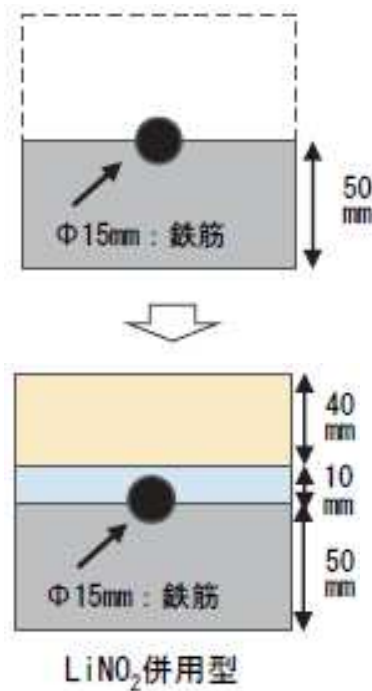


図4 自然電位経時変化(半分はつり・Cl⁻:15.0)

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



写真 4-1 人力によるはつり作業状況



写真 4-3 鉄筋ケレン状況



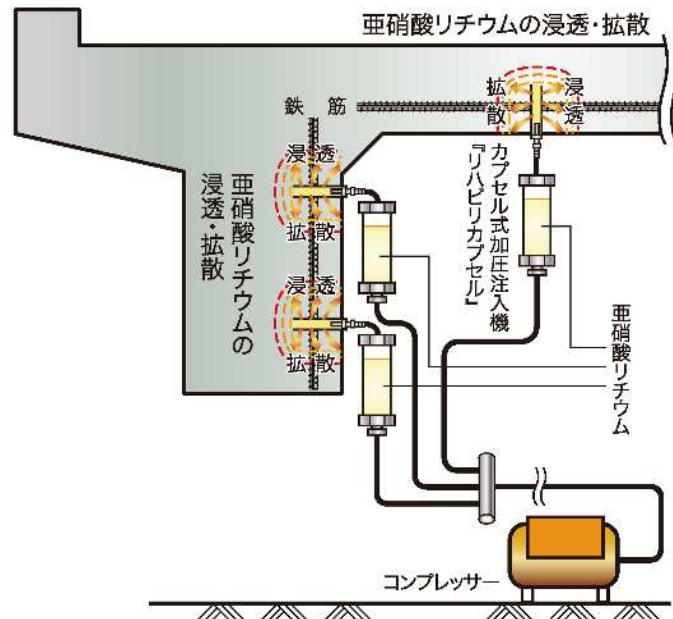
写真 4-4 鉄筋防錆処理状況



写真 4-5 断面修復状況

2.4 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』

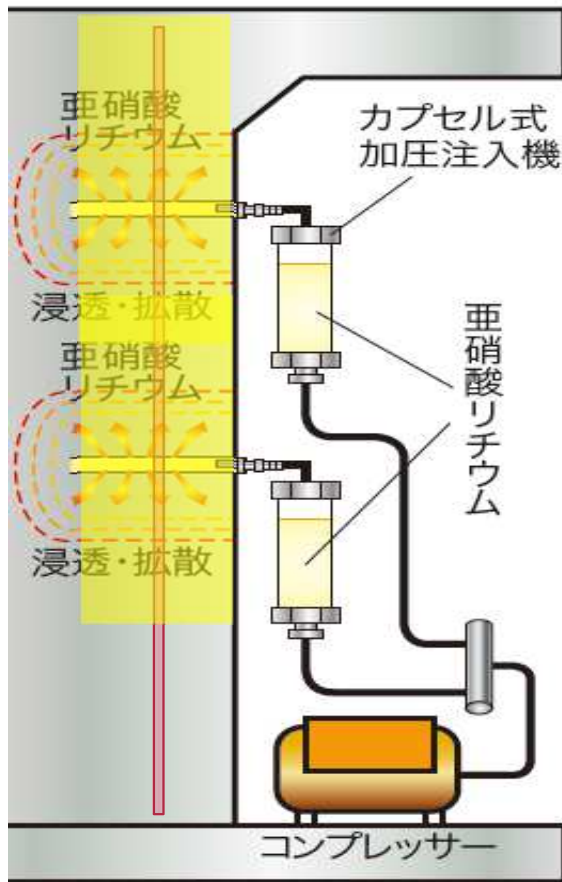




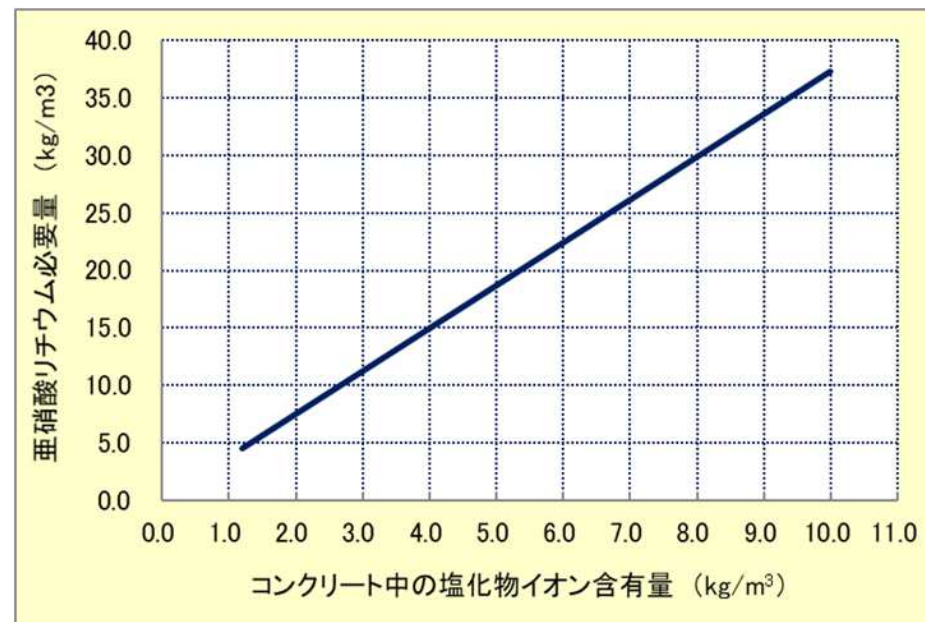
- ①コンクリートに $\phi 10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 程度の削孔を500mmの間隔で行う
- ②カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する
⇒ 不動態皮膜の早急かつ確実な再生

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』



- ・塩害補修の設計圧入量は $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0で定量的に算定する。
- ・中性化補修では一律で 7.42kg/m^3 とする(経験値)。
- ・圧入対象コンクリート範囲は表層 $100\sim 200\text{mm}$ 程度とし、鉄筋かぶりに応じて構造物毎に設定する。
- ・圧入による浸透には1週間～2週間程度を要する。



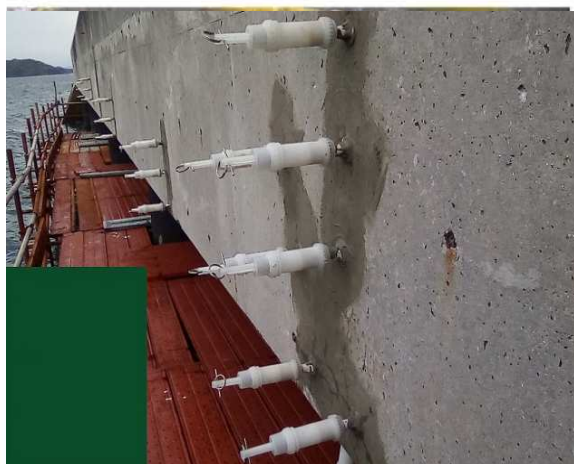


写真 4-1 表面漏出防止工(ひび割れ注入工)



写真 4-4 鉄筋探査状況



写真 4-5 削孔状況(ダイヤモンドコアドリル)

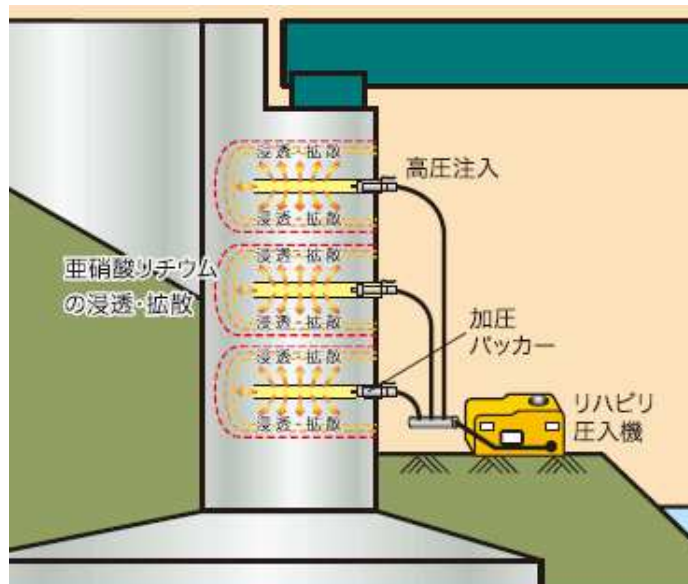


写真 4-6 リハビリカプセル設置状況

2.5 亜硝酸リチウム内部圧入工法

『リハビリリ圧入工法』





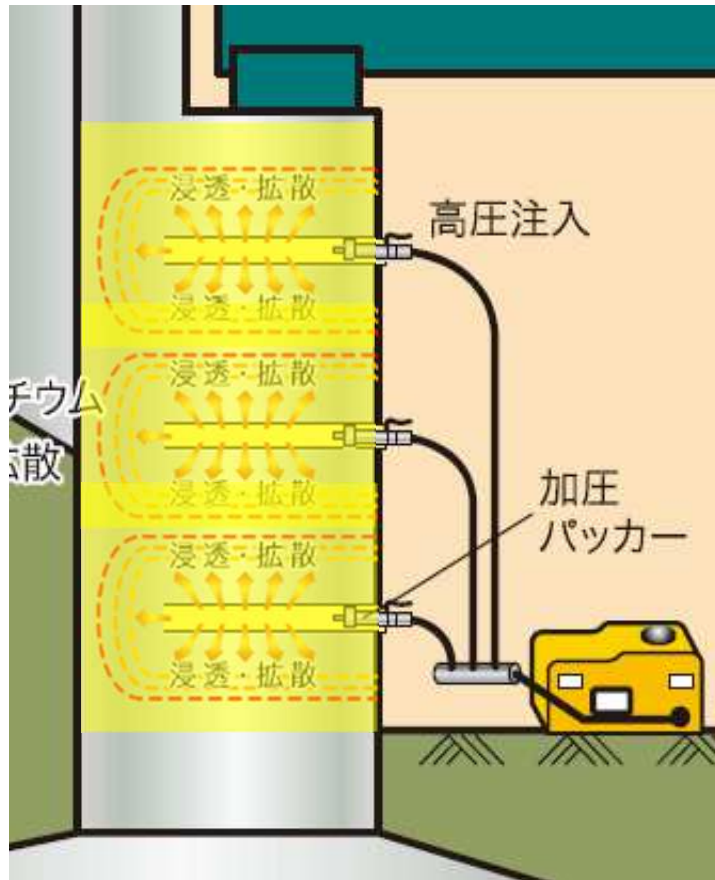
- ①コンクリートにφ20mmの削孔を750mm間隔で行う
- ②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する
⇒ アルカリシリカゲルの非膨張化

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』

亜硝酸リチウム内部圧入工法 『リハビリ圧入工法』

NETIS:KK-010026-A(掲載終了)



- ・ASR補修の設計圧入量、 $[\text{Li}^+]/[\text{Na}^+]$ モル比=0.8で定量的に算定する。
- ・圧入対象コンクリート範囲は部材全体とする。
- ・圧入による浸透には2週間～4週間程度を要する。

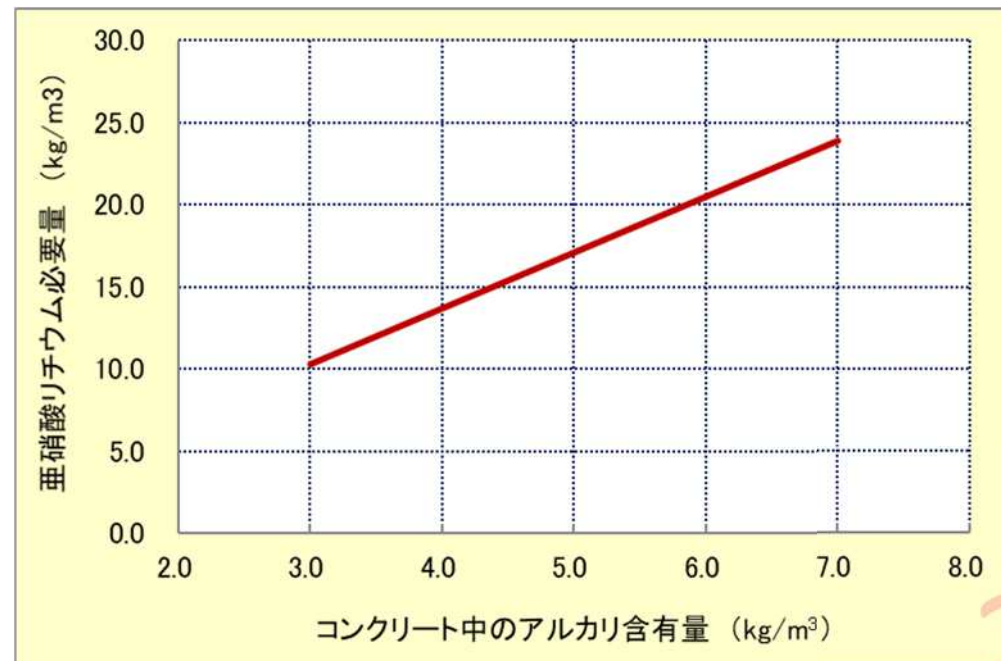




写真 4-1 表面漏出防止工(ひび割れ注入工)



写真 4-2 表面漏出防止工(表面シール工)



写真 4-4 鉄筋探査状況



写真 4-5 削孔状況(ダイヤモンドコアドリル)



写真 4-6 加圧パッカー装着及び配管状況

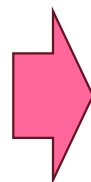
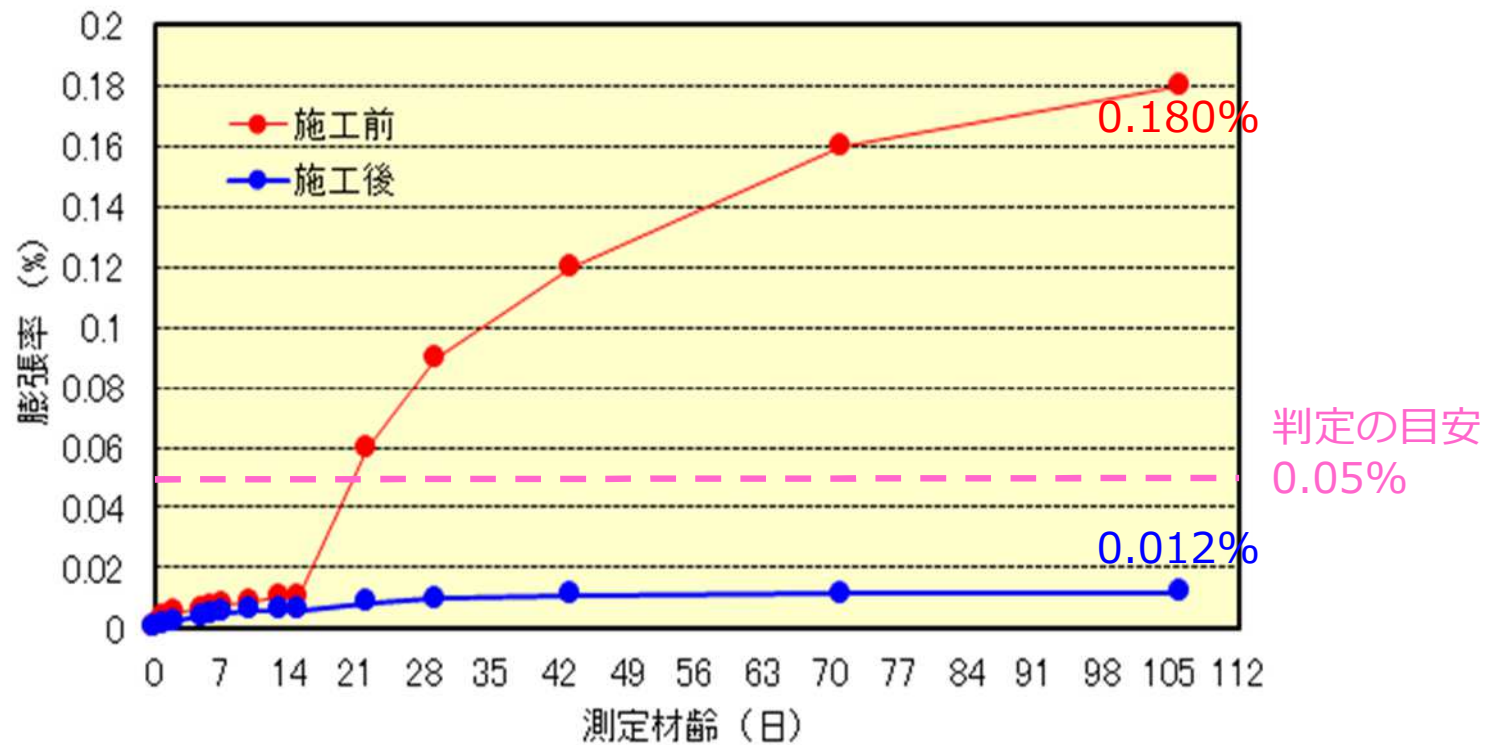


写真 4-7 圧入孔充填状況

【施工前後の残存膨張量計測による効果検証】



施工前後の促進養生試験結果の例（山内高架橋；2012年、JCI-DD2法）

【施工前後の残存膨張量計測による効果検証の蓄積(2002年～2012年)】

年度	名称	発注者	残存膨張量(%) 【施工前】	残存膨張量(%) 【施工後】	備考
2002	日御碕地区 砂防	島根県	0.055	0.008	JCI-DD2法
2003	海田高架橋	中国地整	0.045	0.020	JCI-DD2法
2004	陶橋	四国地整	0.081	0.018	JCI-DD2法
2010	米岡小橋	鳥取県	0.064	0.029	JCI-DD2法
2012	湯村大橋	島根県	0.065	0.019	JCI-DD2法
2012	山内高架橋 第1工区	佐賀県	0.180	0.029	JCI-DD2法
2012	上関大橋	山口県	—	0.020	JCI-DD2法
2012	大橋	香川県	—	0.039	JCI-DD2法
2012	御山大橋	香川県	0.213	0.008	JCI-DD2法
2012	山内高架橋 第2工区	佐賀県	0.180	0.031	JCI-DD2法
2012	山内高架橋 第3工区	佐賀県	0.180	0.021	JCI-DD2法
2012	石川橋	香川県	—	0.007	JCI-DD2法
2012	楠川橋	香川県	0.133	0.026	JCI-DD2法

【施工前後の残存膨張量計測による効果検証の蓄積(2013年～2016年)】

年度	名称	発注者	残存膨張量(%) 【施工前】	残存膨張量(%) 【施工後】	備考
2013	東宮新橋	山形県	0.272	0.016	カナダ法
2013	中瀬橋	徳島県	0.136	0.024	カナダ法【施工前】 JCI-DD2法【施工後】
2013	鉄塔基礎 No.78	民間	—	0.003	JCI-DD2法
2014	仁多大橋	島根県	0.280	0.024	カナダ法(施工前) JCI-DD2法(施工後)
2014	鉄塔基礎 No.69	民間	—	0.005	JCI-DD2法
2014	鉄塔基礎 No.75	民間	—	0.004	JCI-DD2法
2014	挿頭橋	綾川町(香川県)	0.047	0.038	JCI-DD2法
2014	灘橋	島根県	—	0.024	JCI-DD2法
2015	石井橋	島根県	0.092	0.016	JCI-DD2法
2015	今川立坑	大阪府	—	0.083	カナダ法
2016	奥谷橋	島根県	0.092	0.018	JCI-DD2法
2016	屋島大橋 1工区	高松市	0.296	0.084	カナダ法
2016	高貝橋	島根県	0.232	—	カナダ法

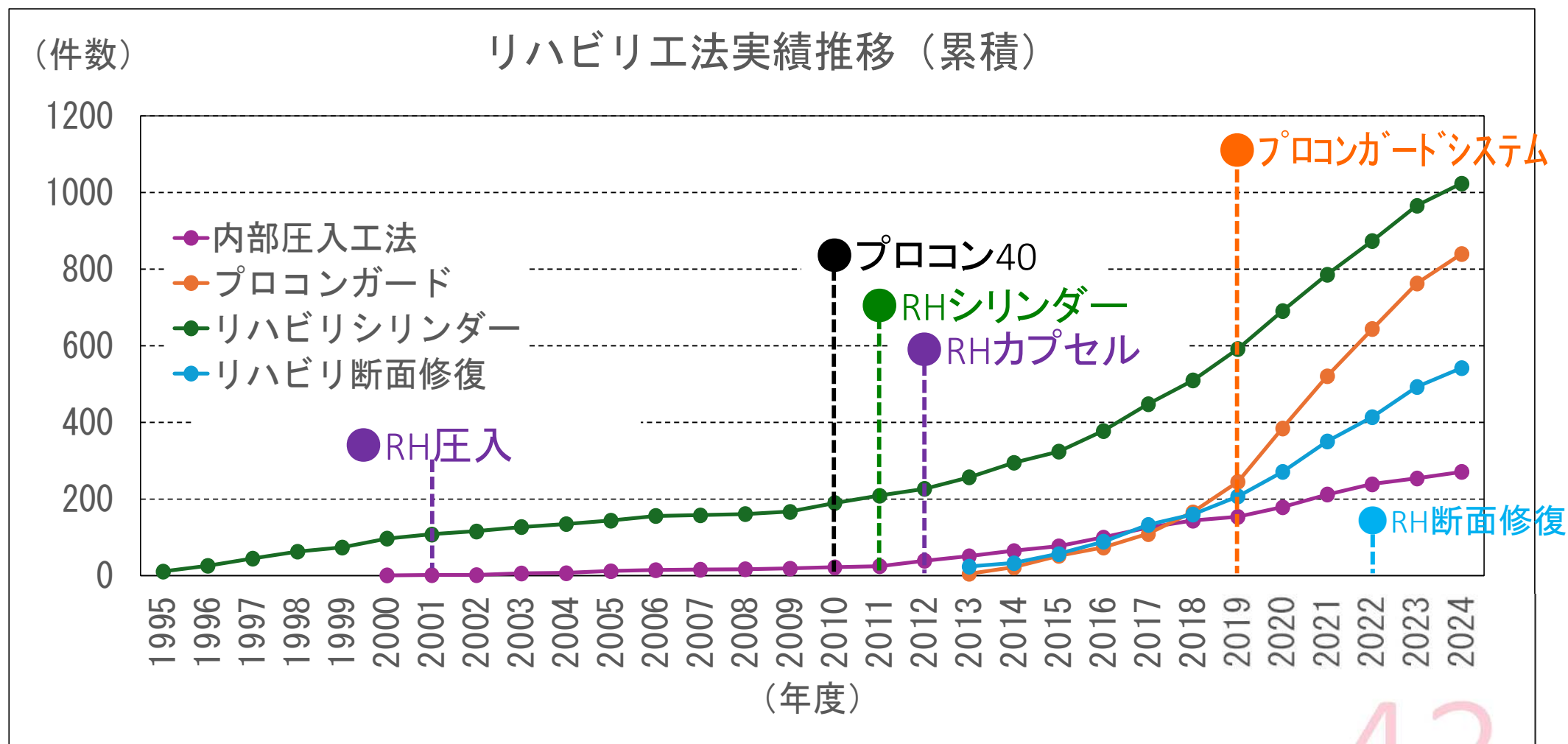
【施工前後の残存膨張量計測による効果検証の蓄積(2016年～2018年)】

年度	名称	発注者	残存膨張量(%) 【施工前】	残存膨張量(%) 【施工後】	備考
2016	新呑谷橋 第1期	島根県	0.061	0.017	JCI-DD2法
2016	京見橋	兵庫県	0.051	0.020	JCI-DD2法
2017	新呑谷橋 第2期	島根県	0.061	0.011	JCI-DD2法
2017	花仙橋	島根県	0.210	0.004	カナダ法(施工前) JCI-DD2法(施工後)
2017	嫁島高架橋	松江市	—	0.024	JCI-DD2法
2017	嫁島高架橋 その2	松江市	—	0.024	JCI-DD2法
2017	高砂大橋	高砂市	0.423	0.017	カナダ法(施工前) JCI-DD2法(施工後)
2017	鉄塔基礎 No.40	民間	—	0.042	カナダ法
2018	小女良橋	島根県	0.116	0.067	カナダ法
2018	屋島大橋 3工区	高松市	0.296	0.063	カナダ法
2018	厳城橋 4工区	鳥取県	0.213	0.008	カナダ法
2018	滝谷川橋	島根県	0.334	0.032	カナダ法

2.6 亜硝酸リチウムを用いた 各種補修工法の施工実績



亜硝酸リチウムを用いた補修工法の施工実績の推移（実績累計とNETIS登録）



※ 件数はコンクリートメンテナンス協会正会員による施工案件のみを計上

都道府県別 亜硝酸リチウム累積使用量 TOP20

亜硝酸リチウム使用量 TOP20



3. 亜硝酸リチウムを活用した 新たな取り組み

3.1 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』



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』

【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
- ・水分遮断だけでなく、鉄筋防錆効果をプラスすることでさらなる長寿命化



亜硝酸リチウム塗布＋床版防水工を組合わせた
『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、舗装の下の床版コンクリート面に適用する床版防水工法
備考	2024年より施工開始	2025年より施工開始

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(コンクリート舗装用)』



写真 4-2 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布工の施工状況

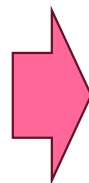


写真 4-3 高浸透型床版防水材(1層目)塗布工の施工状況



写真 4-4 表面補修・不陸修正材(厚塗り仕様 2層目)塗布工の施工状況
(左:砂骨ローラーでの施工 右:金鋏での施工)

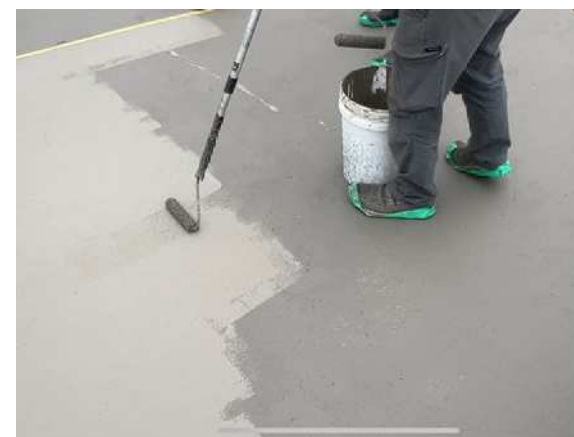
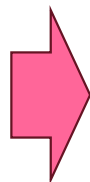


写真 4-5 表面保護材塗布工の施工状況

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(一般舗装用塗膜型)』



①下地処理工



②亜硝酸リチウム塗布工



③プライマー塗布工



④アスファルト防水層

3.2 PCグラウト充填不足部補修

『リパッシブ工法』

PS Construction

PCグラウト充填不足部補修(リパッシブ工法)

概要

summary

近年、既設ポストテンション方式PC橋のグラウト充填不足部に、凍結防止材に起因する塩化カルシウムが侵入し、橋梁安全性を確保する上で非常に重要な対策の要する箇所や異常な場合には破断が報告されています。リパッシブ工法は、従来のグラウト再注入工法では、十分な充填率を得ることができないこれらの箇所に対して、垂注型リチウム水溶液注入と垂注型リチウム添加補修材充填を行う新工法です。塩素系不凍融剤と腐食抑制剤により、橋梁安全性の低下を防止し、既設PC橋の長寿命化を実現します。

【 本工法の適用が望ましい既設ポストテンション方式PC橋における変状例 】



主ケーブルに沿ったひび割れ、エポキシセメント(左)主ケーブル(右)主ケーブル(左)主ケーブル(右)

ポストテンション方式PC橋の主ケーブルで腐蝕された腐蝕部

特長

- 確かな腐食抑制
垂注型リチウム水溶液が、従来のPC鋼材の口まきの継ぎ目に容易に浸透し再充填をさせることで、高い腐食抑制効果が得られます。
- モニタリング可能
橋梁内にモニタリングセンサを設置することにより、施工時および施工後の腐食抑制効果も、電気化学的にモニタリングできます。
- 優れた耐久性
垂注型リチウム添加補修材が、橋梁内に浸透した垂注型リチウムの外部への拡散を抑制し、長期的な腐食抑制効果を発揮します。
- 維持管理費用の削減
PC鋼材の安全性低下を防止することで、橋梁の対策では必要とされた補修を行う必要がなく、維持管理費用が削減されます。
- 広汎な適用性
主ケーブル、せん断鋼棒、橋脚主ケーブル・鋼棒など、あらゆるポストテンション方式のPC鋼材に対して適用可能です。

神戸大学森川英典教授
共同開発

NETIS登録技術
(K1-120108-V1)
303号1811日発明特許

特許登録技術
(特許第5312820号 他)

JIS年度PC工学会賞
(技術開発部門)

1/16
2/26

51

PCグラウト充填不足部補修『リパッシブ工法』

概要

summary

近年、既設ポストテンション方式PC橋のグラウト充填不足部に、凍結防止材に起因する塩化物イオンが侵入し、構造安全性を確保する上で非常に重要なPC鋼材の著しい腐食や最悪の場合には破断が報告されています。リパッシブ工法は、従来のグラウト再注入工法では、十分な補修効果を得ることができないこれらの腐食したPC鋼材に対して、亜硝酸リチウム水溶液注入と亜硝酸リチウム添加補修材充填を行う新工法です。確実な不動態化と腐食抑制により、構造安全性の低下を防止し、既設PC橋の長寿命化を実現します。

【 本工法の適用が望ましい既設ポストテンション方式PC橋における変状例 】



主ケーブルに沿ったひび割れ、エフロレッセンス(左:主桁ウェブ 右:主桁下フランジ)



ポストテンションPCT桁橋の主ケーブルで確認された著しい鋼材腐食

特長

確かな腐食抑制

亜硝酸リチウム水溶液が、腐食したPC鋼材のCl⁻を含む錆層に早期に浸透し再不動態化させることで、高い腐食抑制効果が得られます。

モニタリング可能

シース内にモニタリングセンサを設置することにより、施工時および施工後の腐食抑制効果を、電気化学的にモニタリングできます。

優れた耐久性

亜硝酸リチウム添加補修材が、錆層内に浸透した亜硝酸リチウムの外部への拡散を抑制し、長期的な腐食抑制効果を発揮します。

維持管理費用の縮減

PC構造物の安全性低下を防止することで、従来の対策では必要とされた補強を行う必要がなく、維持管理費用が縮減されます。

広汎な適用性

主ケーブル、せん断鋼棒、横締めケーブル・鋼棒など、あらゆるポストテンション方式のPC鋼材に対して適用可能です。

神戸大学森川英典教授
共同開発

NETIS登録技術
(KT-120108-VR)
2023年3月31日掲載終了

特許登録技術
(特許第5312526号 他)

H25年度PC工学会賞
(技術開発部門)

実績

achievements

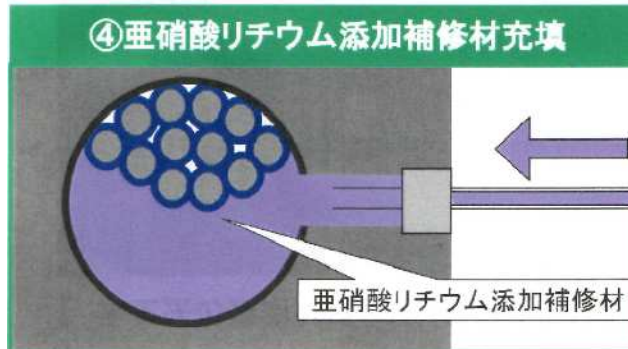
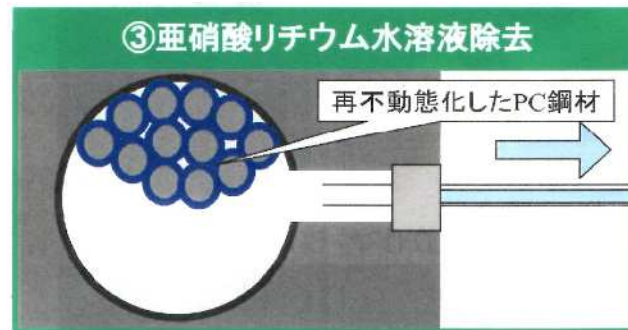
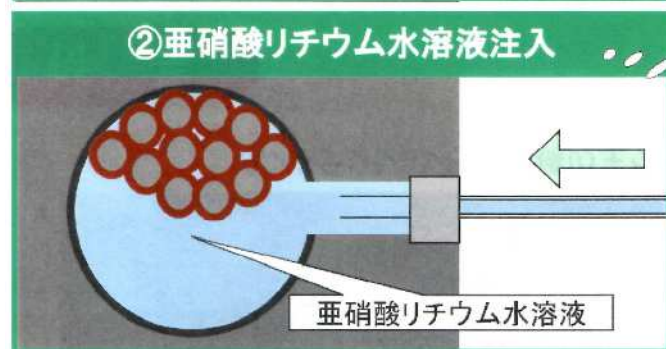
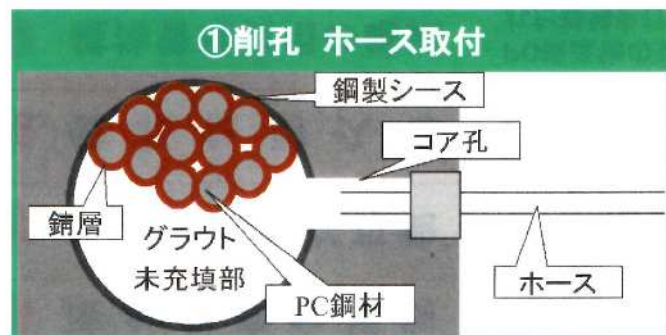
国交省	地方自治体	NEXCO	道路会社	鉄道	合計(件)
22	128	10	5	5	170

2025年3月現在

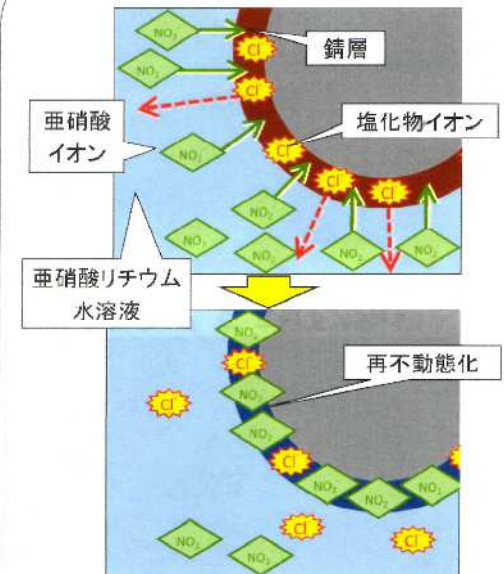
52

PCグラウト充填不足部補修『リパッシブ工法』

● 施工手順 procedure



腐食抑制メカニズム



- (1) 水溶液中の NO_2^- が鍍層に浸透
- (2) 鍍層内の Cl^- が水溶液中に移動
- (3) 鍍層内イオン量が $\text{Cl}^- < \text{NO}_2^-$ へ変化
- (4) 腐食した鋼材表面が再不動態化



3.3 新設構造物の竣工前に発生した 初期ひび割れへの対応



新設構造物の竣工前に発生した初期ひび割れへの対応

【1. 現場の状況と診断結果】

対象：RC擁壁の新設工事

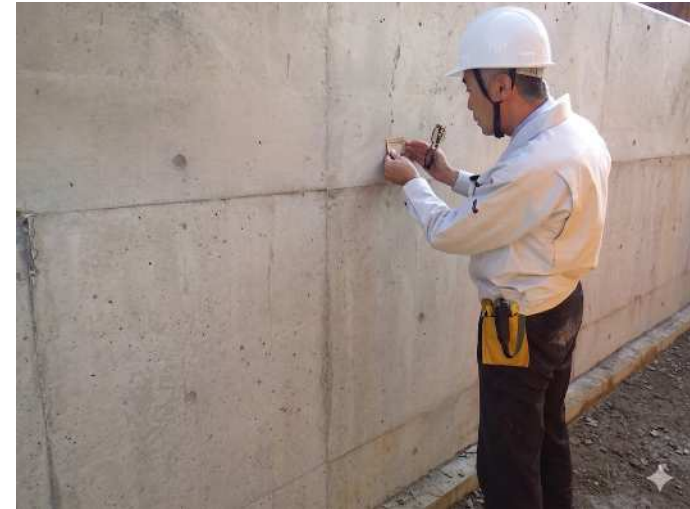
状況：竣工検査前に鉛直方向ひび割れが発生
⇒ ひび割れ幅0.2mm程度

コンクリート診断士による診断：以下の通り
原因⇒「セメントの水和熱」、「コンクリートの乾燥収縮」
補修要否⇒ 耐久性能への影響は小さく、補修は不要



【2. 発注者の反応】

懸念：竣工前のひび割れ発生は許容できない
『新設でひび割れとは何事だ！』
⇒ 強い懸念と不満



新設構造物の竣工前に発生した初期ひび割れへの対応

【3. 受注者の技術的提案】

方針：診断士による判定は「補修不要」であっても、将来の劣化リスクを想定した**一歩踏み込んだ対策**を立案する

課題：局所的な鉄筋腐食リスクへの着眼

⇒ たとえ幅0.2mm程度のひび割れであっても、内部の鉄筋と交差する箇所があれば水分と酸素の供給路となり、局所的な鉄筋腐食の起点となる恐れがある。

解決策：亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法の活用

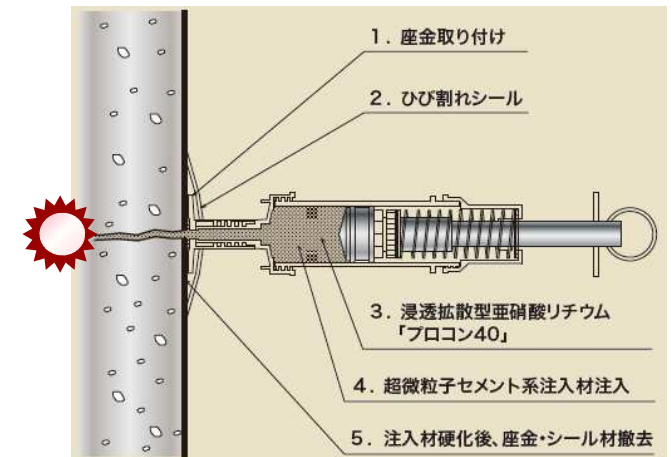
⇒ 物理的なひび割れ閉塞と、化学的な内部防錆を同時に完遂



【4. 発注者の反応】

信頼：「基準を満たすだけでなく、構造物の将来の耐久性まで考慮した、**適切な提案ができる優秀な施工業者だ**」

⇒ 発注者の不満と懸念を完全払拭
顧客満足度(CS)と信頼を獲得
構造物の真の長寿命化に貢献



3.4 軍艦島(端島)塩害補修の試験施工 ～過酷な塩害環境への挑戦～



軍艦島(端島)の保全への取組みの経緯



軍艦島(端島)の塩害補修への取組みの経緯

軍艦島内の建築物の現状



30号棟外観(2018年)



30号棟外観(2021年)

軍艦島(端島)の塩害補修への取組みの経緯

- ・2014年10月 端島全体が国の史跡指定を受ける
- ・2015年7月 世界文化遺産「明治日本の産業革命遺産製鉄・製鋼、造船、石炭産業」の構成資産として端島の炭鉱施設が登録



長崎市より日本建築学会、日本コンクリート工学会に対して研究委託
「軍艦島コンクリート劣化状況調査WG」
⇒屋外暴露試験1(モルタル供試体)

「供用不可まで劣化破損が進行したコンクリート構造物の補修・補強
工法に関する研究委員会」
⇒屋外暴露試験2(鉄筋コンクリート供試体)

「危急存亡状態のコンクリート構造物対応委員会」
⇒実構造物を対象とした試験施工

軍艦島(端島)の塩害補修への取組みの経緯

【屋外暴露試験1】



【屋外暴露試験2】



軍艦島(端島)塩害補修の試験施工 ～過酷な塩害環境への挑戦～

「危急存亡状態のコンクリート構造物対応委員会」

端島(通称「軍艦島」)における補修材の効果検証に関する試験施工

計画・監理・評価 日本コンクリート工学会
危急存亡状態のコンクリート構造物対応委員会

協力 長崎市
対象 軍艦島 70号棟
(1958年建設、7階建て小・中学校)

参加 計12社
施工 2025年8月～10月

目的 以下の通り

- ・島内の構造物に資する補修工法の確立
- ・補修後の外観(視認性)への影響評価
- ・補修材の除去可能性(可逆性)の評価



02

軍艦島(端島)塩害補修の試験施工

～過酷な塩害環境への挑戦～

【コンクリートメンテナンス協会の取り組み】



試験施工の対象構造物 2階8通り梁部材

主たる補修工法

名称: 亜硝酸リチウム内部圧入工法
『リハビリカプセル工法』

目的: はり部材の鉄筋腐食の進行抑制

併用する補修工法

名称: 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』

目的: 劣化因子の侵入抑制

亜硝酸リチウム内部圧入との相乗効果※

※『塩害環境下における暴露試験および促進試験による歴史的構造物の塩分腐食抑制と補修工法の提案』, 芝浦工業大学, 石山玲音, 2024年卒論

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



はり下面のひび割れ状況

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



鉄筋腐食状況（保護モルタルの下で著しい腐食が進行）

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



ひび割れ注入工「リハビリシリンダー工法」 施工状況

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工「リハビリカプセル工法」 施工状況

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



補修効果のデータ収集のため、供試体暴露試験を同時に実施

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 施工状況写真



施工完了（以後、2回/年の頻度で追跡調査実施予定）

軍艦島(端島)の塩害補修試験施工 動画(YouTube)



解説者：
東京大学 教授 野口 貴文

<https://www.youtube.com/watch?v=LXiT2ckbljc>

崩壊は止められるのか——

世界遺産・軍艦島で、10年間に及ぶ試験施工が始まりました。

今回施工が行われたのは、1958年に建設された鉄筋コンクリート構造物・70号棟(小中学校)。

長年、海風や塩害にさらされ続けてきた建物です。

2025年8月下旬より、11社・17工法に及ぶ補修方法を実際に施工し、今後10年間モニタリングを実施。

その結果をもとに、軍艦島に最も適した補修工法を決定していきます。

朽ちゆく世界遺産を守れるのか。歴史的 first step の記録です。

70

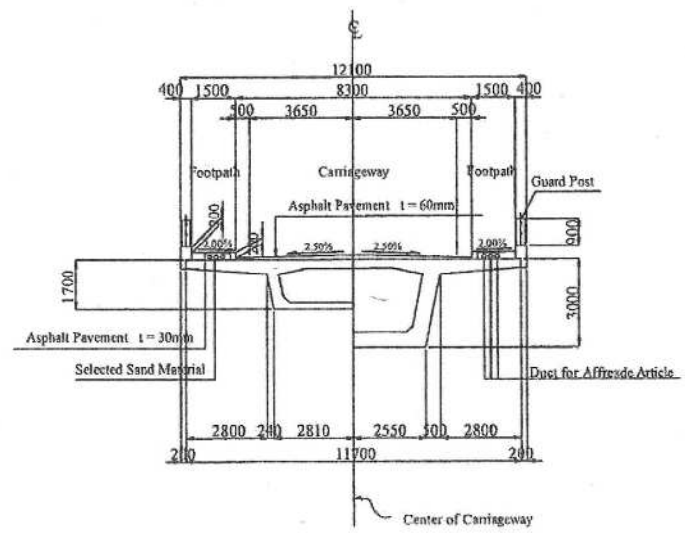
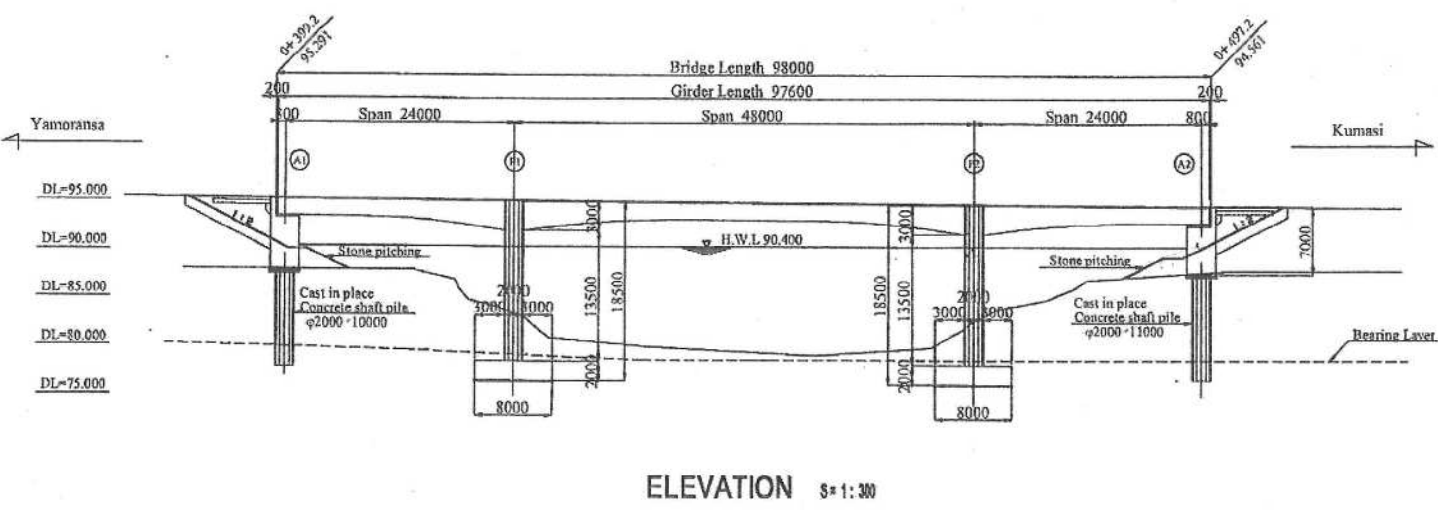
3.5 海外での適用事例

～ガーナ国道8号線ASR補修～



ガーナ国道8号線 某橋下部工ASR補修

【対象構造物(橋梁一般図)】



ガーナ国道8号線 某橋下部工ASR補修

【外観変状の状況】

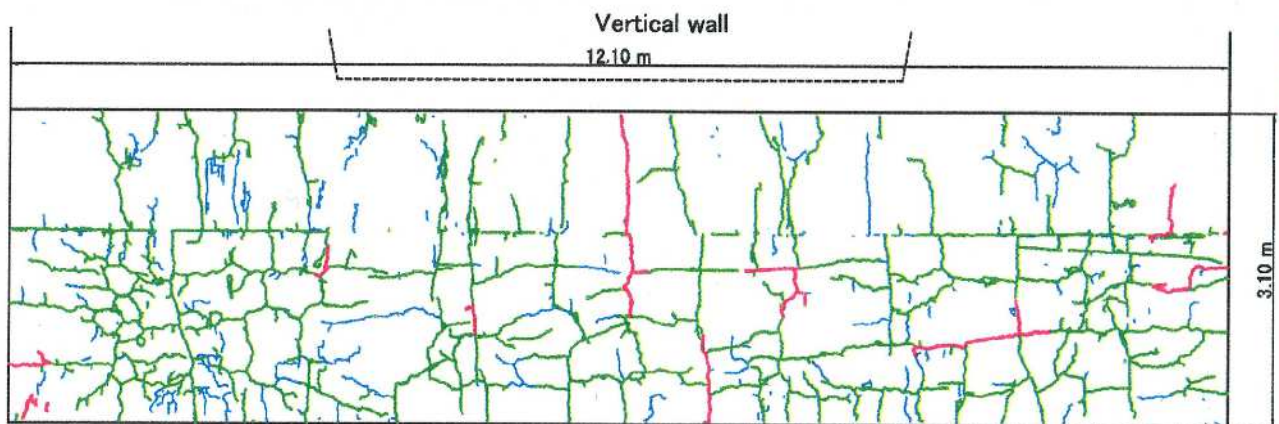
A1 abutment front



abutment A1.

As a result of crack r
width of 1 mm or 1
maximum crack on the
was 2.9 mm.

On the front of the
traces of sediment-mi
have flowed in from th
abutment.

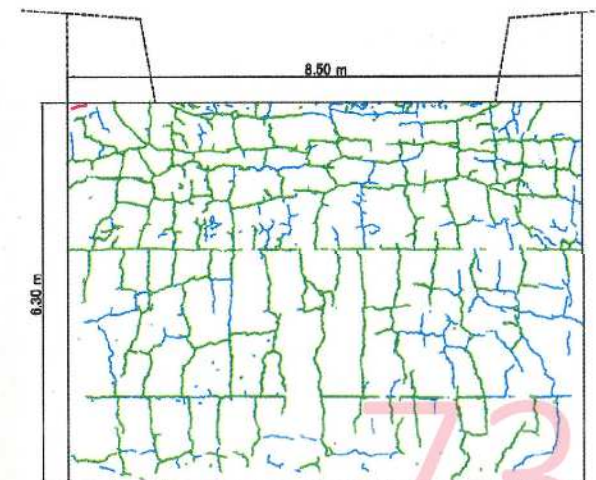


Pier front

P1 Pier



P1 Pier (A1 Side)



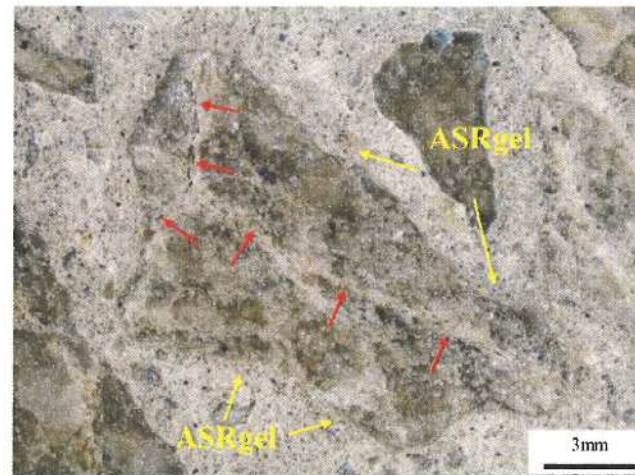
73

ガーナ国道8号線 某橋下部工ASR補修

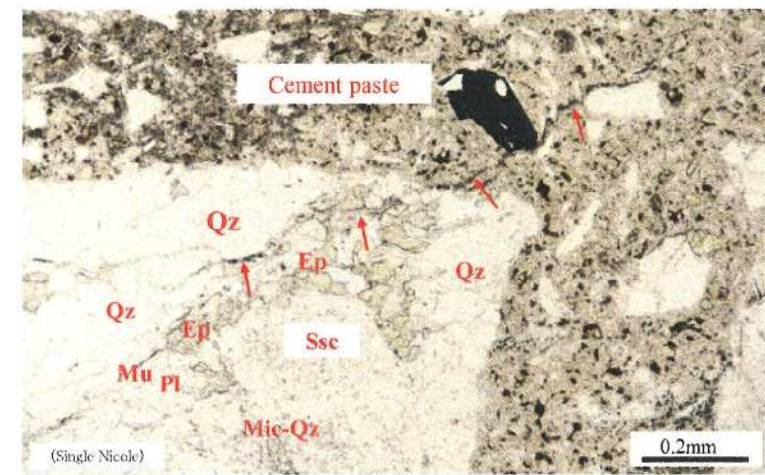
【アルカリシリカゲル、骨材の割れ、セメントペーストの割れ】



-Observations found that ASR is present in the coarse and fine sandy schist aggregate.



-Observations found that ASR was often present in the coarse and fine sandy schist aggregate.



-In Figure , expansion cracks (red arrows) filled with ASR gel, which have progressed to cement paste, can be seen in the coarse sandy schist aggregate (Ssc).

ガーナ国道8号線 某橋下部工ASR補修

【亜硝酸リチウムを用いた表面含浸工法＋ひび割れ注入工にて補修】

4.3 Surface impregnation method comparison table

	Alternative 1 Surface impregnation method Sodium silicate system	Alternative 2 Surface impregnation method Silane / siloxane system	Alternative 3 Surface impregnation method with lithium nitrite Lithium nitrite + silane / siloxane system
Conceptual diagram	surface treatment Sodium silicate system Surface impregnation coating Invasion of deterioration factors is suppressed by densification of the surface layer.	surface treatment Silane / siloxane system Surface impregnation coating The water absorption prevention layer suppresses the invasion of deterioration factors.	surface treatment Lithium nitrite surface impregnating material coating Silane / siloxane system Surface impregnation coating The water absorption prevention layer suppresses the invasion of deterioration factors. Lithium ion penetration Non-expanding alkaline gel with lithium ions
Outline of construction method	The structure of the concrete surface layer where the sodium silicate-based surface impregnating material has permeated is densified by the reaction with calcium hydroxide in the concrete, and the infiltration of water is suppressed.	Since the concrete surface layer portion in which the silane / siloxane-based surface impregnating material has penetrated has a water-repellent effect, water infiltration is suppressed.	Since the silane / siloxane-based surface impregnating material imparts a water-repellent effect to the concrete surface layer portion, water infiltration is suppressed. Lithium nitrite permeates the concrete surface layer and de-expands the alkaline silica gel around the aggregate.
Repair effect Image of residual expansion	Expandability of structure Before repair After repair Period	Expandability of structure Before repair After repair Period	Expandability of structure Before repair After repair Period
Cost ratio	1.38 *When Alternative 2 is 1.0	1.00	1.59 *When Alternative 2 is 1.0
Evaluation	It is a construction method that has good workability and allows follow-up observation. This method is mainly used to suppress the infiltration of water, and has no effect of suppressing the expansion of alkaline silica gel itself, so its applicability to structures in which ASR expansion is in progress is low.	It is the cheapest construction method compared to other alternatives, has good workability, and allows follow-up observation. This method is mainly used to suppress the infiltration of water, and has no effect of suppressing the expansion of alkaline silica gel itself, so its applicability to structures in which ASR expansion is in progress is low.	Although the initial cost is higher than the other plans, in addition to suppressing the infiltration of water, the use of lithium nitrite can reduce the expandability of the alkaline silica gel on the concrete surface layer. Therefore, it is highly suitable for structures in which ASR expansion is in progress.

まとめ

まとめ

【塩害・中性化補修における亜硝酸リチウムの役割】

- ・亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制
- ・一般工法に併用して付加価値をプラスすることで、再劣化までの期間を延ばす
- ・簡易型内部圧入工法に活用することで、再劣化リスクそのものの低減を図る

【ASR補修における亜硝酸リチウムの役割】

- ・リチウムイオンによるASR膨張抑制
- ・一般工法に併用して付加価値をプラスすることで、再劣化までの期間を延ばす
- ・内部圧入工法に活用することで、再劣化リスクそのものの低減を図る



【コンクリート構造物の長寿命化における亜硝酸リチウムの役割】

- ・補修後の維持管理シナリオに応じて、亜硝酸リチウムの活用方法を選択できる
 - [再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ]
 - ⇒ 一般工法に亜硝酸リチウムを併用してLCCを低減する
 - [再補修を許容しない維持管理シナリオ]
 - ⇒ 内部圧入工法として亜硝酸リチウムを活用して再補修を不要とする

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

78