コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2026

# 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

# 主な内容

## 1. コンクリート構造物の劣化

- ●塩害
- ●中性化
- ●ASR

## 2. 亜硝酸リチウムを活用した補修技術

- ●亜硝酸リチウム
- ●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

## 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
- ●新設時の初期ひび割れへの対応

# 1. コンクリート構造物の劣化

# 1.1 塩害



# 塩害による劣化のメカニズム

【原因】

・海水、飛来塩分、凍結防止剤などの外部要因、または材料（除塩不足の海砂など）に由来する塩化物イオンがコンクリート中に浸入

・浸入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ水分とともに浸透・拡散

↓

【劣化の進行】

・鉄筋位置の塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えると、鉄筋表面を保護している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で鉄筋腐食が進行し、腐食生成物による体積膨張が生じる

↓

【性能低下】

・腐食生成物の膨張圧により、ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出が発生

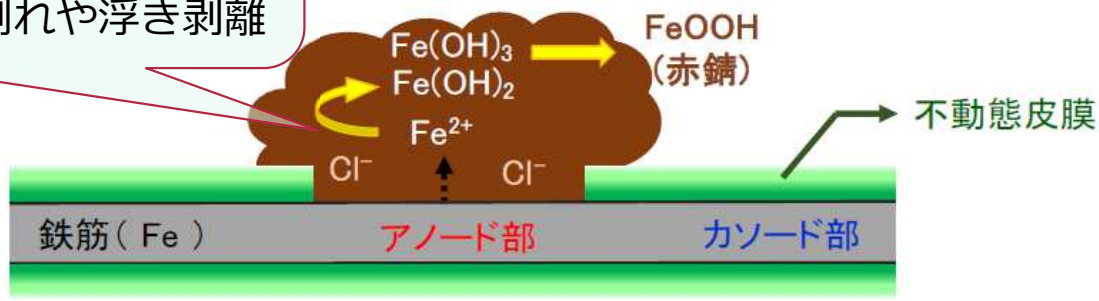
・コンクリートと鉄筋との付着が低下

・鉄筋断面の減少　⇒　最終的には耐荷性能の低下

# 不動態皮膜と鉄筋腐食　（塩害）

・コンクリート中（強アルカリ環境）にある鉄筋は、不動態皮膜によって腐食から保護されている
・しかし、腐食発生限界を超えた塩化物イオンの存在下では、不動態皮膜が破壊され、鉄筋は腐食しやすい環境に晒される
・そこに水と酸素が供給されると鉄筋は腐食する（腐食生成物の体積膨張）

【塩害】
高い塩化物イオン量により不動態皮膜が破壊
⇩
鉄筋腐食による膨張圧 ⇨ ひび割れや浮き剥離




アノード部　$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

カソード部　$H_2O + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$（水酸化第一鉄）$\rightarrow Fe(OH)_3$（水酸化第二鉄）$\rightarrow FeOOH$（赤錆）

$OH^-$、$H_2O$

# 塩害による劣化の事例



錆汁を伴うひび割れ



コンクリートの浮き、剥離

# 塩害による劣化の事例



コンクリートの剥落、鉄筋露出



再劣化

# コンクリート診断士試験での出題傾向　（塩害）

【ERA調べ】

| 年度 | 設問 | 出題内容 |
|---|---|---|
| 2025年 | 択一式 | ・分極曲線の概念　・分極抵抗法の原理　・塩化物イオン濃度分布　・塩化物イオンの拡散<br>・電気防食工法の概念 |
| | 記述式 | ・(土木)RC橋台　竪壁;塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁;ASR |
| 2024年 | 択一式 | ・鉄筋腐食反応式　・塩化物イオン浸透深さ試験　・自然電位法　・RC中空床版橋の変状<br>・凍結防止剤によるRC床版下面の変状　・電気防食の管理 |
| | 記述式 | ・(建築)RC建造物　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<br>・塩化物イオン量規準の変遷　・塩害補修選定　・鉄筋防錆処理　・脱塩工法の留意点 |
| | 記述式 | ・(土木)PCﾎﾟｽﾃﾝ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<br>・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ﾄﾞ反応、ｶｿｰﾄﾞ反応　・見かけの拡散係数と塩分濃縮　・分極抵抗法の原理<br>・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 |

# 1.2　中性化(と水の浸透に伴う鋼材腐食)



# 中性化による劣化のメカニズム

【原因】

・大気中の二酸化炭素がコンクリート内部に侵入

・二酸化炭素とセメント水和物（水酸化カルシウム）が炭酸化反応を起こし、炭酸カルシウムを生成

・コンクリートのpHが強アルカリ性（pH＝12～13程度）から低下（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

・中性化深さが鉄筋付近まで到達すると、鉄筋を保護している不動態皮膜が破壊

・水、酸素が供給されることで鉄筋腐食が進行し、腐食生成物による体積膨張が生じる

↓

【性能低下】

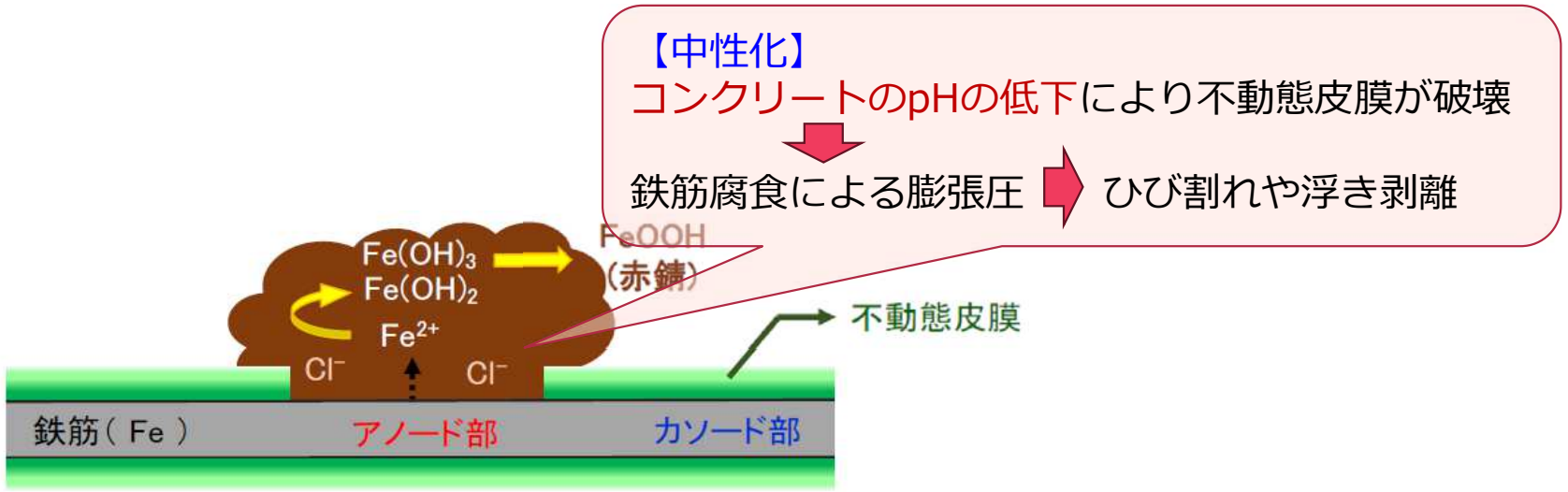
・腐食生成物の膨張圧により、ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出が発生

・コンクリートと鉄筋との付着が低下

・鉄筋断面の減少　⇒　最終的には耐荷性能の低下

# 不動態皮膜と鉄筋腐食　（中性化）

・コンクリート中（強アルカリ環境）にある鉄筋は、不動態皮膜によって腐食から保護されている
・しかし、鉄筋周囲のpH低下（中性化残り10mm未満）により不動態皮膜が破壊され、鉄筋は腐食しやすい環境に晒される
・そこに水と酸素が供給されると鉄筋は腐食する（腐食生成物の体積膨張）




【水の浸透の影響】
・中性化によりpHが低下しても、水の影響がなければ腐食しにくい
・同一部材、同一コンクリート品質であっても中性化深さに差が生じる
・塩害環境では中性化残り10mm以上であっても腐食開始

# 中性化による劣化の事例



鉄筋に沿ったコンクリート剥離



鉄筋露出(かぶり不足)

# コンクリート診断士試験での出題傾向　（中性化）

【ERA調べ】

| 年度 | 設問 | 出題内容 |
|---|---|---|
| 2025年 | 択一式 | ・中性化メカニズム（化学平衡論）　・ひび割れと中性化　・中性化の補修 |
| | 記述式 | ・（土木）RC橋台　竪壁；塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁；ASR |
| 2024年 | 択一式 | ・中性化の特徴　・建築構造物の変状　・RC構造物の中性化進行予測（√t則） |
| | 記述式 | ・（建築）RC建造物　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（√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（√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　・塩分濃縮の将来予測<br>・けい酸塩系含浸材塗布後の中性化進行予測（√t則） |
| | 記述式 | ― |

# 1.3 アルカリシリカ反応(ASR)



# ASRによる劣化のメカニズム

【原因】

・高アルカリ環境：セメント等の材料に由来するアルカリ金属イオンによる高pH環境
・水分の供給：雨水や地下水などが反応を進行・継続させる
・反応性骨材：アルカリ反応性鉱物（反応性シリカ）を含む骨材の使用

↓

【劣化の進行】

・骨材中の反応性シリカがアルカリ分と反応し、骨材周囲にアルカリシリカゲルを生成
・コンクリート内部に供給された水分をアルカリシリカゲルが吸収し、体積膨張
・この局所的な膨張圧より、骨材やコンクリートにひび割れが発生し、進展する

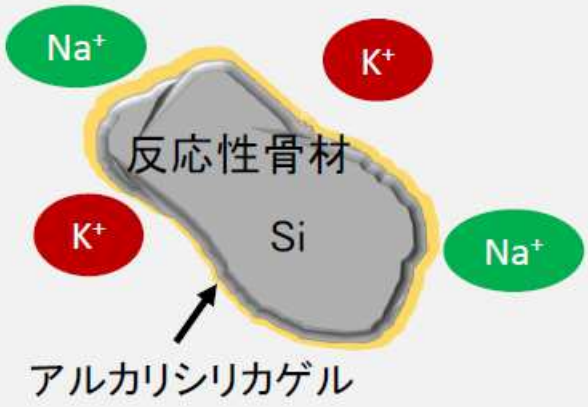
↓

【性能低下】

・外観の変状：亀甲状ひび割れ、主筋に沿ったひび割れ、白色ゲル、目地部の段差など
・力学特性の低下：圧縮強度、静弾性係数の低下、鉄筋破断など
・複合劣化の誘発：ASRのひび割れから劣化因子が侵入し、鉄筋腐食の原因となる

# ASRによる劣化のメカニズム

第1ステージ
『 アルカリシリカゲルの生成 』




《化学式》

$nSiO_2$ ＋ $2NaOH$
シリカ鉱物　アルカリ
→ $Na_2O \cdot nSiO_2$ ＋ $H_2O$
アルカリシリカゲル

第2ステージ
『 アルカリシリカゲルの膨張 』




《化学式》

$Na_2O \cdot nSiO_2$ ＋ $mH_2O$
アルカリシリカゲル　水
→ $Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$
吸水膨張

# 参考：ASRによる劣化のメカニズム

【ゲルの吸水膨張説における膨張力不足の指摘】

・ゲルの流動性と応力緩和

⇒アルカリ・シリカに富むASRゲルは高い流動性を持つため膨張しても空隙へ逸走？

・膨張圧と体積変化の不一致

⇒ゲルの吸水膨張のエネルギーだけではASRの大きな膨張進展を説明することが困難？

【近年の議論の内容】

・骨材内部の膨張

⇒ゲルが滲出する前に、骨材内部の閉鎖微細孔内で急激に膨張し、骨材自体を直接割裂・破壊。

・Caによるゲルの硬化

⇒セメントペースト中の水酸化カルシウムと反応してゲルが剛性化。

その結果、流動性を失うことで効率的に膨張圧をセメント骨格へ伝達。

・結晶析出・成長圧

⇒ひび割れ内部で層状ケイ酸塩（結晶相）が析出し、結晶成長にともなう物理的な圧を発揮。

# ASRによる劣化の事例



橋脚の亀甲状ひび割れ



PC桁の橋軸方向ひび割れ

# ASRによる劣化の事例



ASRによる鉄筋破断



再劣化

# コンクリート診断士試験での出題傾向　(ASR)

【ERA調べ】

| 年度 | 設問 | 出題内容 |
|---|---|---|
| 2025年 | 択一式 | ・アルカリ金属量の推定　・PC中空床版橋のASR |
| | 記述式 | ・(土木)RC橋台　竪壁;塩害と中性化の複合劣化、塩分濃縮　翼壁;ASR |
| 2024年 | 択一式 | ・ASR膨張の特徴　・ｱﾙｶﾘｼﾘｶｹﾞﾙの識別方法　・促進養生試験(JCI-S-011法)<br>・ｱﾘｶﾘｼﾘｶｹﾞﾙとｴﾌﾛﾚｯｾﾝｽの識別方法　・ｺｱ破断面の観察　・反応性骨材の地域特性 |
| | 記述式 | — |
| 2023年 | 択一式 | ・ﾍﾟｼﾏﾑ現象の特徴　・全ｱﾙｶﾘ量(等価$Na_2O$換算量)の計算　・塩害とASRの複合劣化<br>・漏洩磁束法による鉄筋破断の検出 |
| | 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)<br>・掛違い橋脚のASR補修工法選定 |
| | 記述式 | — |
| 2021年 | 択一式 | ・ﾓﾙﾀﾙﾊﾞ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<br>・PC桁のASR劣化　・ASR関連基準の変遷　・ASR補修工法と補修材料 |
| | 記述式 | — |

# 2. 亜硝酸リチウムを活用した補修技術

# 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

$NO_2^-$

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

$Li^+$

アルカリシリカゲルを
非膨張化

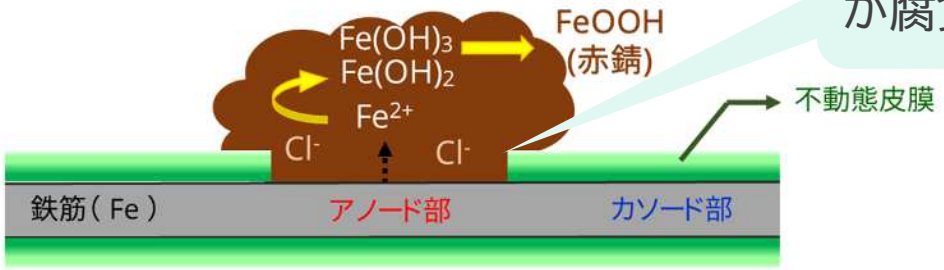
ASR 対策



・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

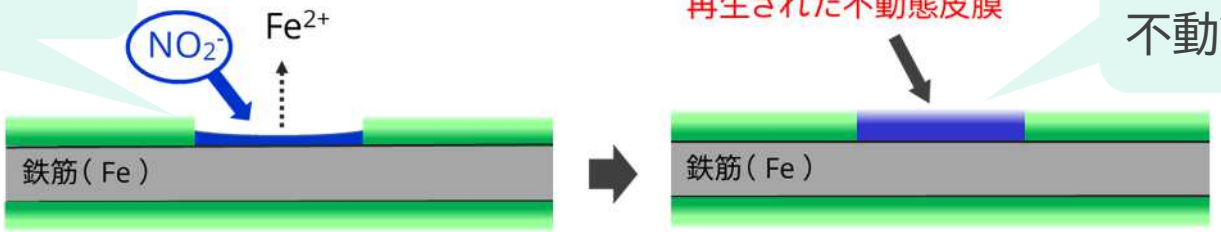
# 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果

不動態皮膜が破壊され，鉄筋が腐食している状態




鉄筋周囲に亜硝酸イオン（$NO_2^-$）が供給されると・・・

亜硝酸イオン（$NO_2^-$）が不動態皮膜を再生する




亜硝酸イオン（$NO_2^-$）による不動態皮膜再生メカニズム

・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

（$2Fe^{2+} + 2OH^- + 2NO_2^- \rightarrow Fe_2O_3 + 2NO + H_2O$ ： 亜硝酸イオンが酸化剤として作用）

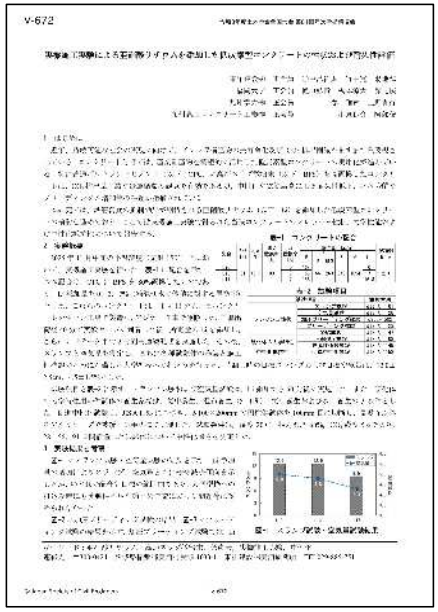
・あとは、鉄筋位置に亜硝酸イオンを供給する手段を考えればよい！

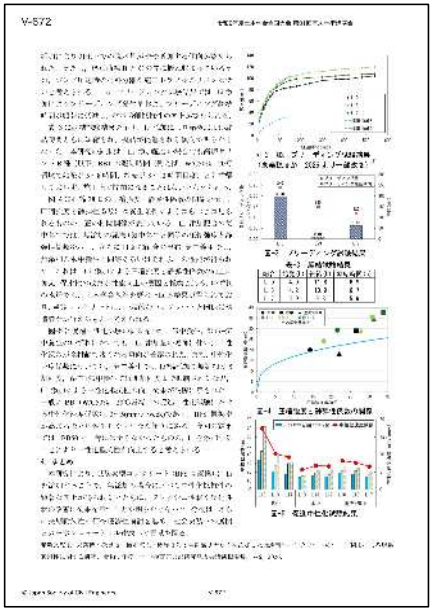
⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

# 参考：亜硝酸リチウムによる中性化の進行抑制

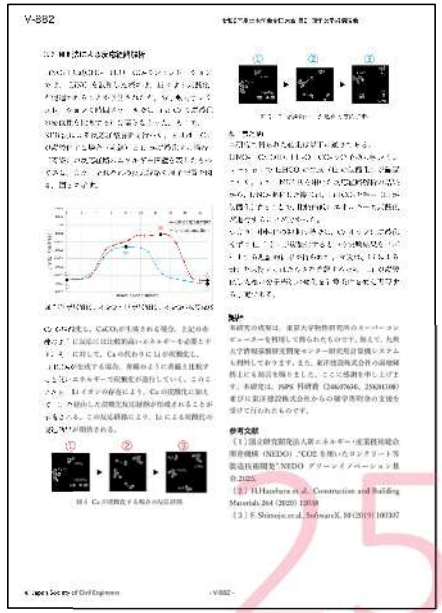
| | |
|---|---|
| 題目 | 実機施工実験による亜硝酸リチウムを添加した低炭素型コンクリートの性状および耐久性評価 |
| 著者 | 中島祥太・竹中寛・湯地輝・櫨原弘貴ほか　（主な研究機関；福岡大学、九州電力） |
| 出典 | 土木学会全国大会2026（北海道） |

| | |
|---|---|
| 題目 | 分子動力学法によるコンクリートに混和された$LiNO_2$の初期炭酸化反応機構解明 |
| 著者 | 大久保遥生、金舛育実、櫨原弘貴ほか　（主な研究機関；広島工業大学、福岡大学、愛媛大学） |
| 出典 | 土木学会全国大会2026（北海道） |

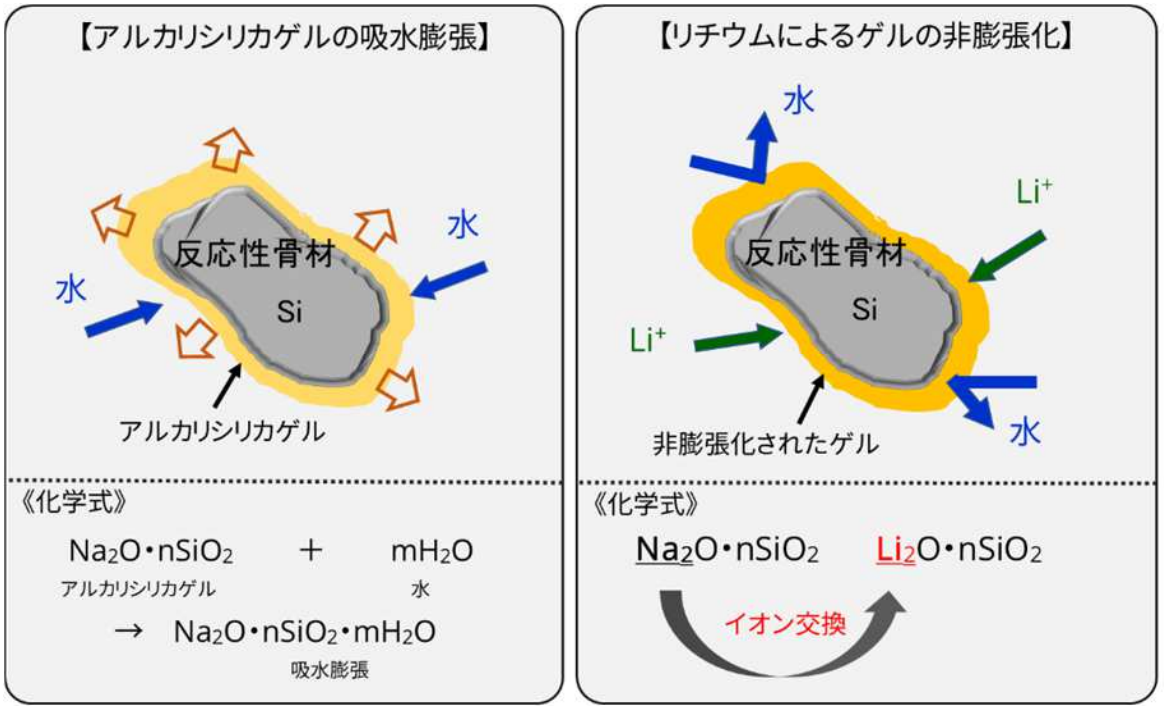








# リチウムイオンによるASR膨張抑制効果




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

# 参考：リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

【Ca剛性化の阻害】

・Liイオンがゲルに取り込まれることで、カルシウム(Ca)がゲルに侵入するのを阻害する効果が注目されている。

・Caを取り込めないゲルは剛性化(硬化)せず、流動性の高い粘弾性流体のまま維持されるため、空隙へ逸走しやすくなり、膨張圧(ひび割れを押し広げる力)の発生を抑制する。

【結晶化の抑制】

・Liイオンが存在することで、膨張の原因となる層状ケイ酸塩鉱物の結晶化プロセスそのものが阻害される、あるいは生成物の形態が変化して結晶成長圧が生じにくくなる可能性が示唆されている。

# 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】

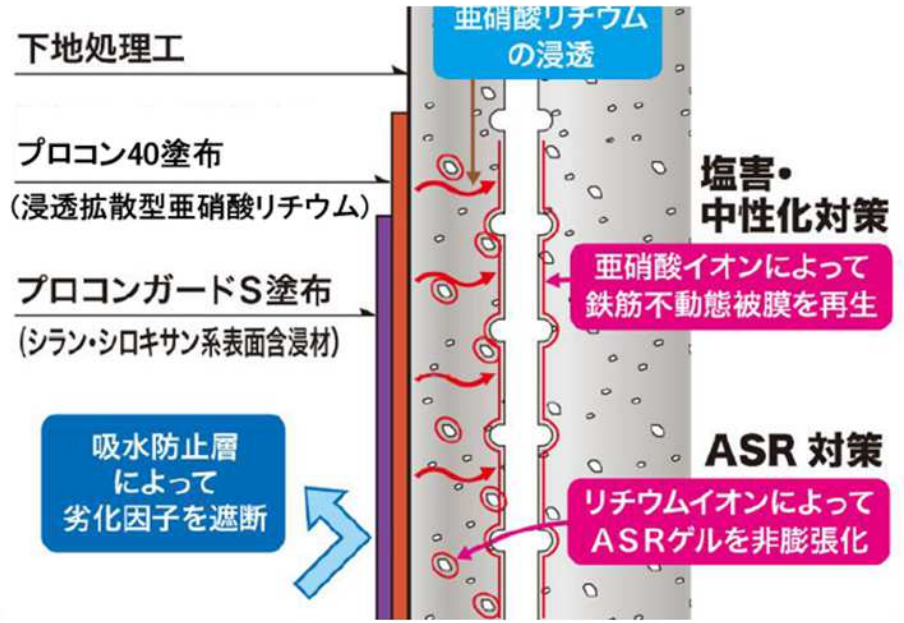
| 年度 | 設問 | 出題内容 |
|---|---|---|
| 2025年 | 択一式 | ・(写真)変状に対する対策工選定：選択肢に「塗布型防錆材」 |
| 2024年 | 択一式 | ・アルカリシリカ反応の膨張特性：選択肢に「リチウムイオンにはアルカリシリカ反応によるコンクリートの膨張を抑制する効果がある」 |
| 2023年 | 択一式 | ・RC床版の土砂化の原因：選択肢に「亜硝酸イオン」<br>・断面修復の鉄筋防錆処理：設問文に「亜硝酸塩系の鉄筋防錆剤」 |
| 2022年 | 択一式 | ・(写真)変状に対する対策工選定：選択肢に「亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル」 |
| 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」 |

# 2.1 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』



# 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』

# 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

# 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

【劣化過程が塩害の『潜伏期』にある場合】
状況：腐食発生限界塩化物イオン濃度未満であり、不動態皮膜は健全
⇒まだ鉄筋が腐食する理由は発生していない

一般的な表面含浸工法（シラン系、けい酸塩系など）の適用性が高い
（要求性能：劣化因子の侵入抑制）

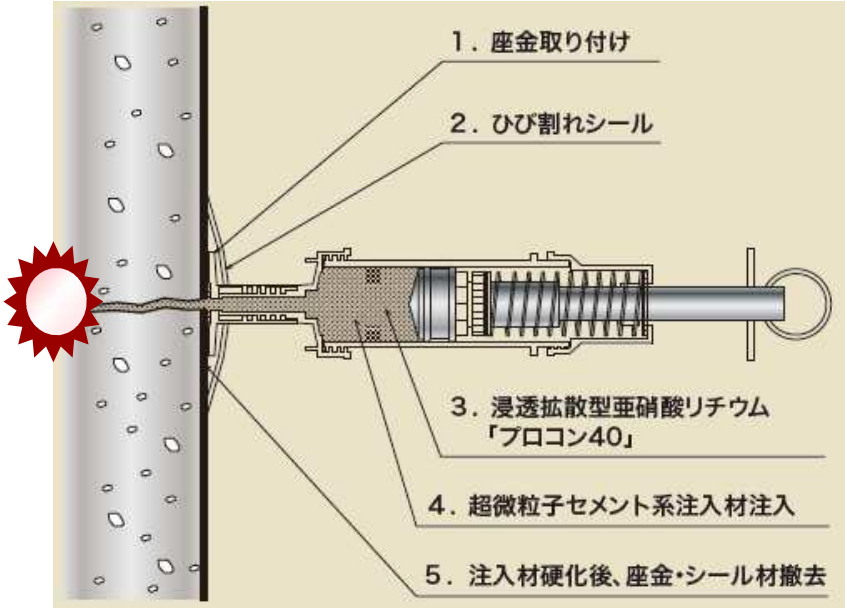
【劣化過程が塩害の『進展期』以降にある場合】
状況：腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えており、不動態皮膜は破壊
⇒コンクリート内部では既に鉄筋腐食が生じている

鉄筋腐食抑制型の表面含浸工法（プロコンガードシステムS）の適用性が高い
（要求性能：劣化因子の侵入抑制＋鉄筋腐食抑制）

# 2.2 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法『リハビリシリンダー工法』



# 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』

# 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)

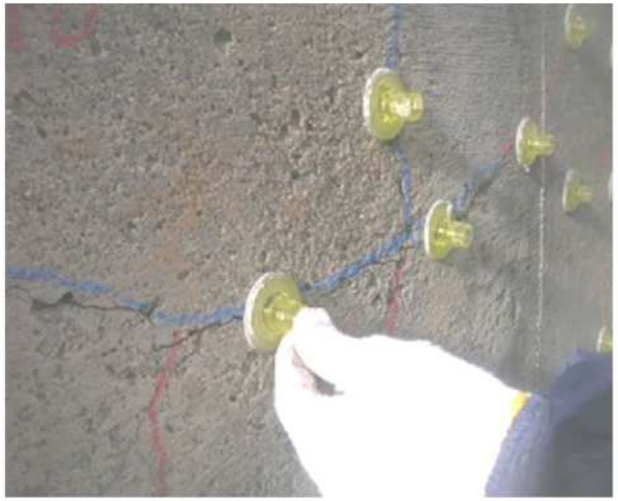


写真 4-2 座金取り付け工の施工状況



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

# 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)

【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因しない場合】
例)乾燥収縮ひび割れ、温度ひび割れなど

一般的なひび割れ注入(エポキシ樹脂等)の適用性が高い
(要求性能 : ひび割れの閉塞)

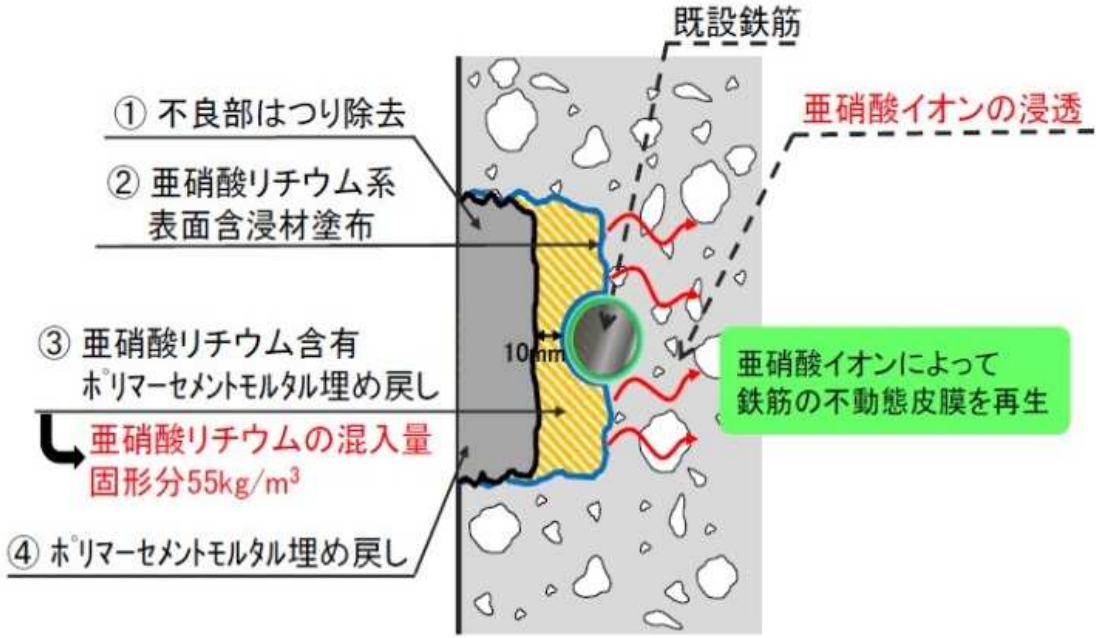
【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因する場合】
例)塩害、中性化などによるひび割れ

鉄筋腐食抑制型ひび割れ注入(リハビリシリンダー工法)の適用性が高い
(要求性能:ひび割れの閉塞+鉄筋腐食抑制)

# 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10㎜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

# 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

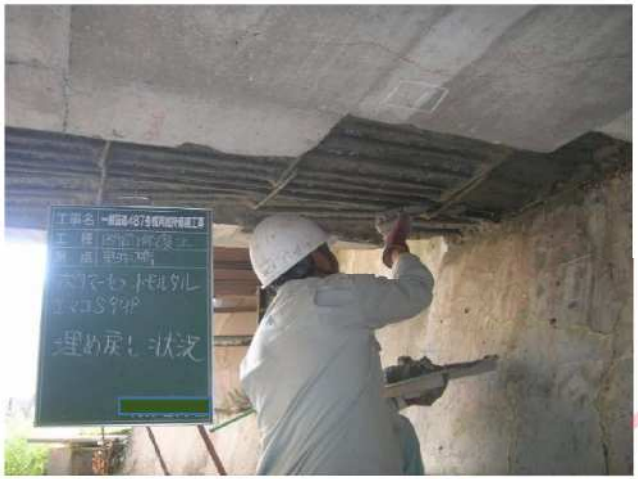
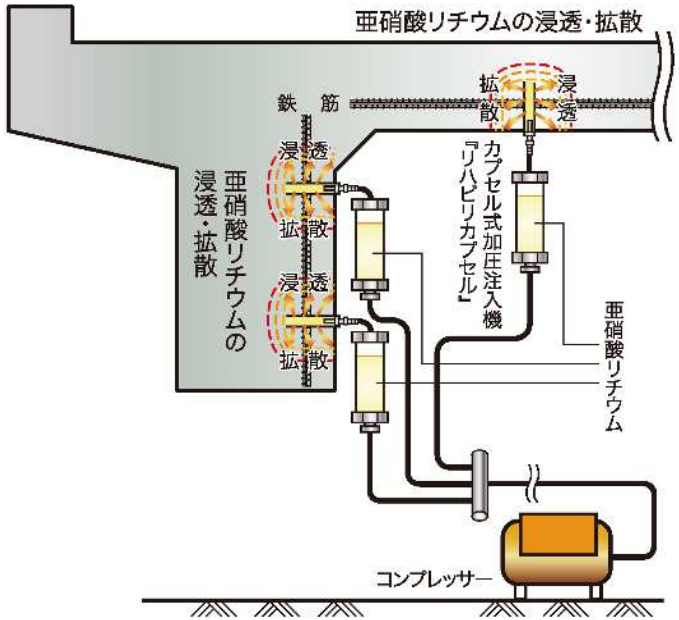



写真 4-5 断面修復状況

# 2.4 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法
# 『リハビリカプセル工法』



# 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』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)

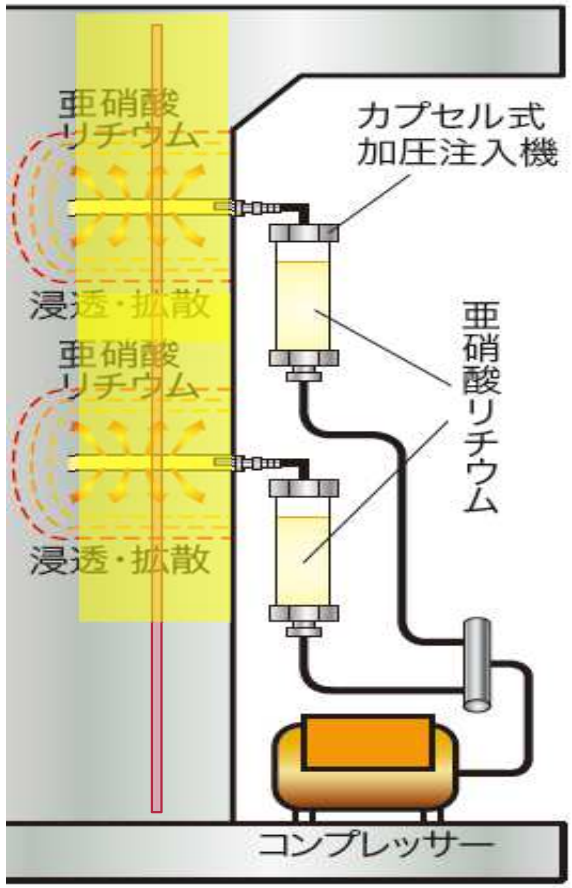





①コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を500mmの間隔で行う
②カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する
⇒　不動態皮膜の早急かつ確実な再生

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』

# 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』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)

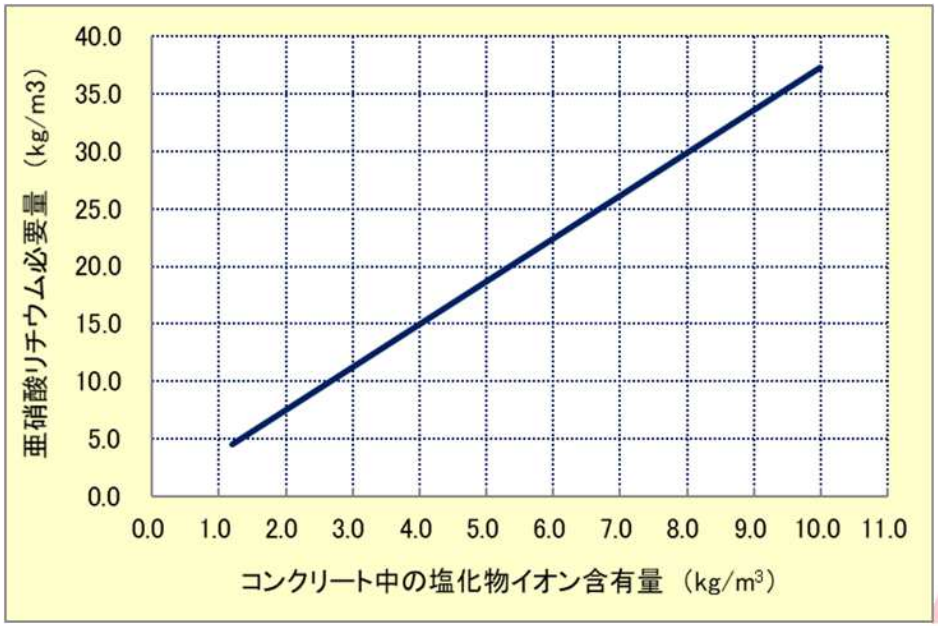



・塩害補修の設計圧入量は$[NO_2^-]/[Cl^-]$モル比＝1.0で定量的に算定する。

・中性化補修では一律で7.42kg/m³とする(経験値)。

・圧入対象コンクリート範囲は表層100～200mm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。



# 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』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)



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

# 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』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)

## 【I橋　施工後の追跡調査の事例】

橋梁概要
- 2径間連続 鈑桁橋(2主桁)
- 橋長:41.0m　支間長:20.1m×2径間
- 幅員:全幅6.8m　有効幅員6.0m
- 架設年度:1968年・工事場所:鳥取県　東伯郡
- 環境:寒冷地(凍結防止剤散布あり)



調査結果(2012年)
- 圧縮強度:41.1～41.3N/mm$^2$ (設計基準強以上)
- 塩化物イオン量:1.20～3.08kg/m$^3$ (腐食発生限界値超)
- 中性化深さ:21～27mm　(純かぶり17～29mm)
- 施工前劣化状況:
  - 床版下面の浮き剥離・鉄筋露出
  - 軽微な断面減少にまで進行した鉄筋腐食

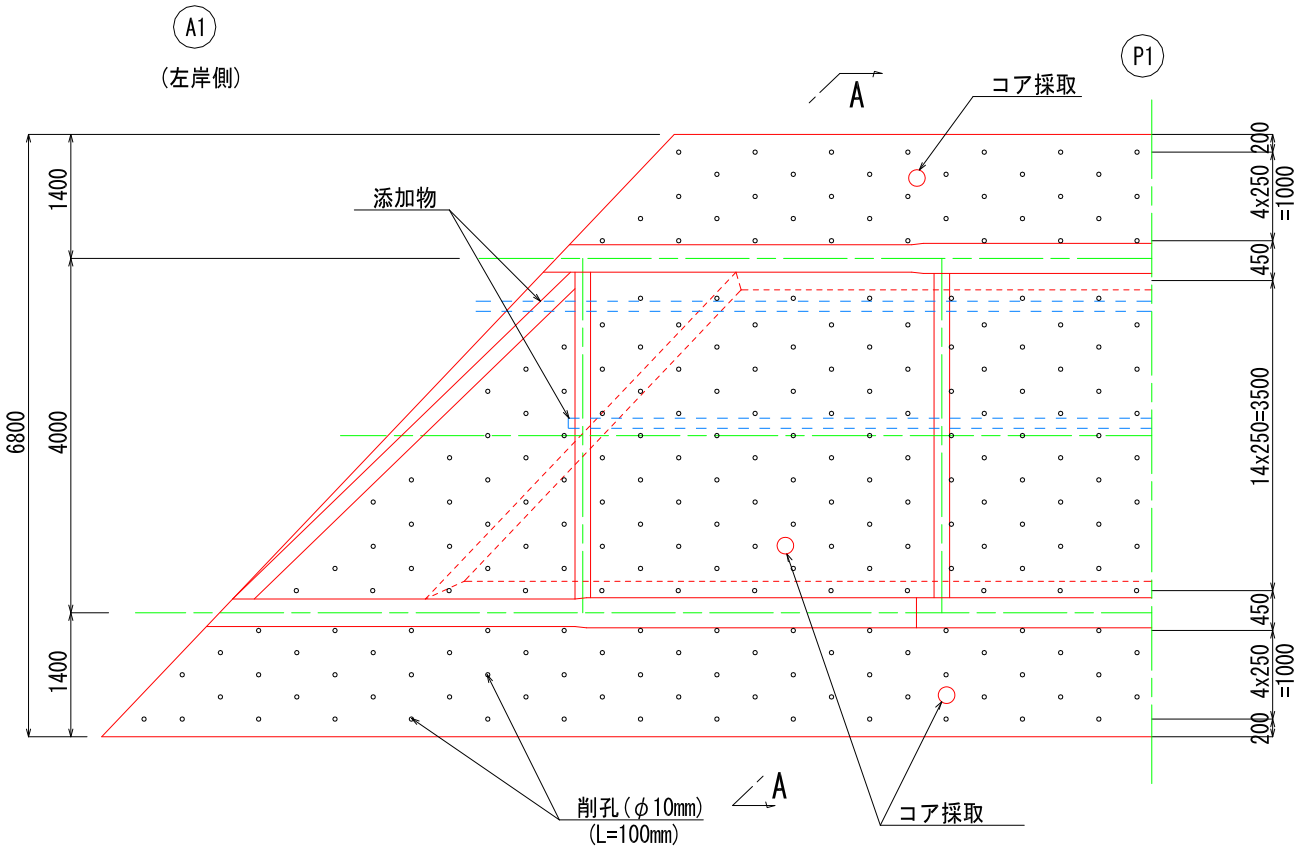


# 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法『リハビリカプセル工法』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)

## 【I橋　内部圧入の施工】

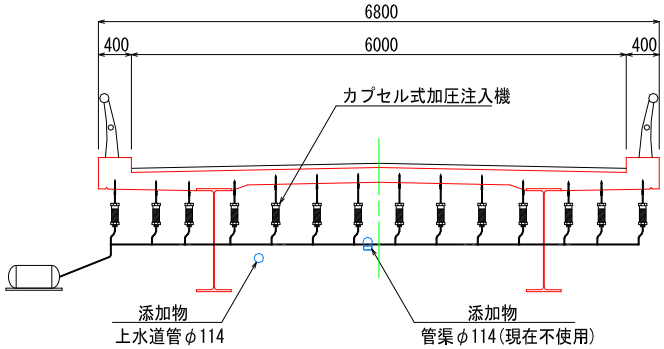
・圧入孔数　　:1112孔(500mm間隔)
・亜硝酸リチウム使用量:720kg(40%水溶液)

### 桁下面図




### 断 面 図

A － A






# 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』　NETIS:CG-120005-A(掲載終了)

## 【I橋　施工後10年間の追跡調査(外観目視)】



施工前（2012年）



施工後2年（2014年）



施工後8年（2020年）



施工後10年（2022年）

# 【I橋　施工後の追跡調査(xROADの活用)】

別紙2　様式1様式2　　様式1

橋梁名・所在地・管理者名等

| 橋梁名 | 路線名 | 所在地 | 起点側 | 緯度 | 35° 28′ 41″ | 橋梁ID |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 経度 | 133° 54′ 20″ | 35.47807,133.90566 |
| 一の宮橋<br>(フリガナ)イチノミヤハシ | 県道東郷羽合線 | 鳥取県東伯郡湯梨浜町藤津 | | | | |

| 管理者名 | 定期点検実施年月日 | 路下条件 | 代替路の有無 | 自専道or一般道 | 緊急輸送道路 | 占用物件(名称) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 鳥取県中部総合事務所県土整備局 | 2020.10.2 | 舎人川 | 有 | 一般道 | 二次 | 水道管 |

部材単位の診断(各部材毎に最も厳しい健全性の診断結果を記入)　　定期点検者

| 定期点検時に記録 | | | | | 応急措置後に記録 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 部材名 | | 判定区分<br>(Ⅰ～Ⅳ) | 変状の種類<br>(Ⅱ以上の場合に記載) | 備考(写真番号、位置等が分かるように記載) | 応急措置後の判定区分 | 応急措置内容 | 応急措置及び判定実施年月日 |
| 上部構造 | 主桁 | Ⅰ | | | | | |
| | 横桁 | Ⅰ | | | | | |
| | 床版 | Ⅰ | | | | | |

道路橋毎の健全性の診断(判定区分Ⅰ～Ⅳ)

| 定期点検時に記録 | |
|---|---|
| (判定区分) | (所見等) |
| Ⅰ | 過去に補修されており、橋梁の健全性に影響する変状は観られない。 |

| 架設年次 | 橋長 | 幅員 |
|---|---|---|
| 1968 | 41 | 6.8 |

橋梁形式

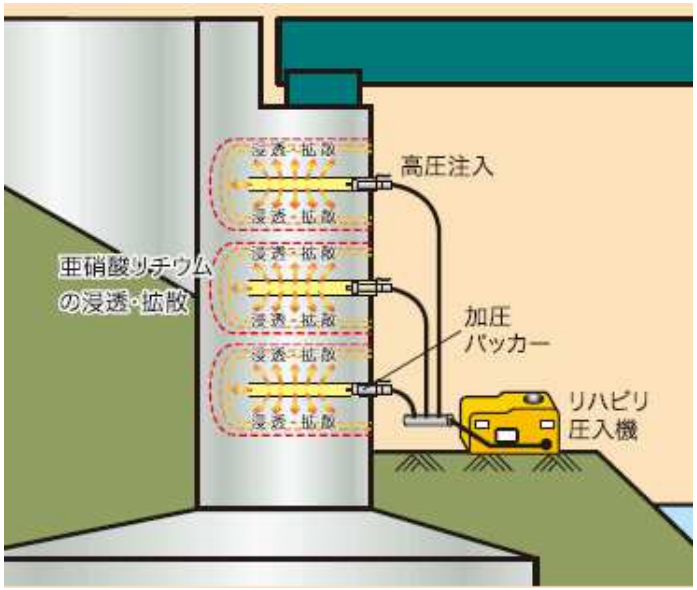
鋼橋(連続プレートガーター橋)、逆T式橋台2基、壁式橋脚1基

xROAD「全国道路施設点検データベース」より

# 2.5　亜硝酸リチウム内部圧入工法
# 『リハビリ圧入工法』



# 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)

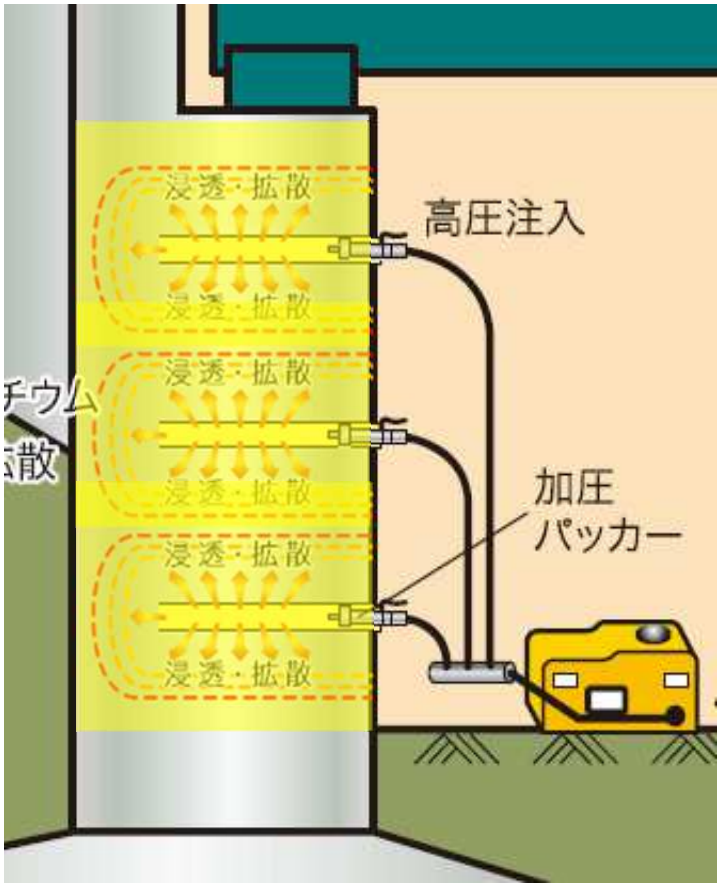





①コンクリートにφ20mmの削孔を750mm間隔で行う
②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する
⇒　アルカリシリカゲルの非膨張化

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』

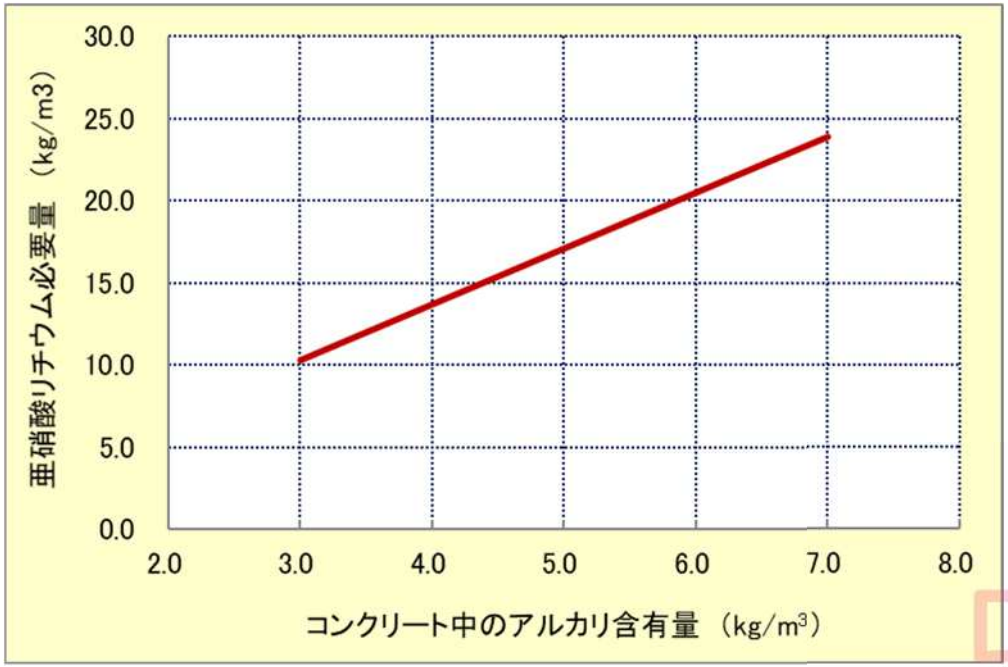
# 亜硝酸リチウム内部圧入工法『リハビリ圧入工法』　NETIS:KK-010026-A(掲載終了)




・ASR補修の設計圧入量、$[Li^+]/[Na^+]$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。



# 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)



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)

# 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)





写真 4-6 加圧パッカー装着及び配管状況

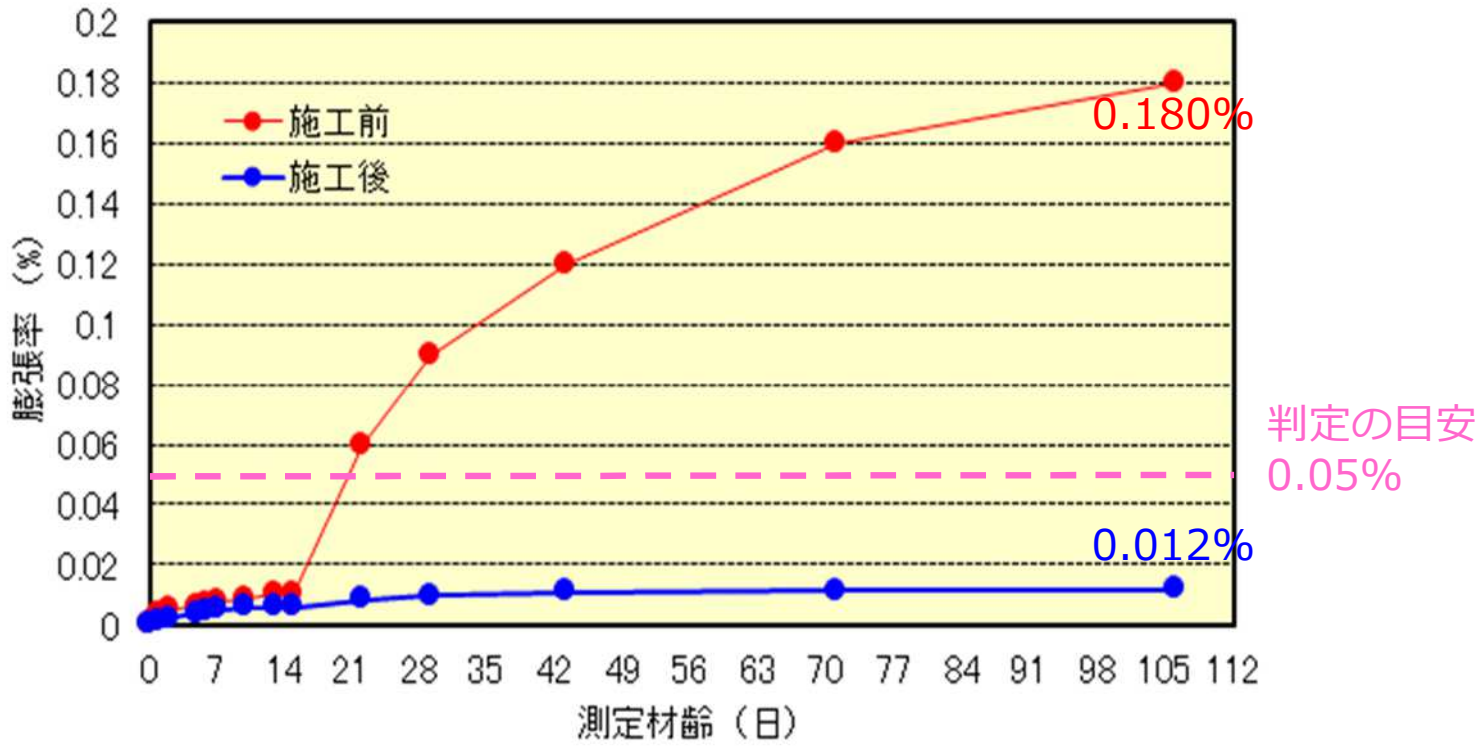





写真 4-7 圧入孔充填状況

# 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)

## 【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）

# 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)

## 【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 |

1ページ

# 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)

## 【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】<br>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)<br>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 |

# 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)

## 【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)<br>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)<br>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ページ

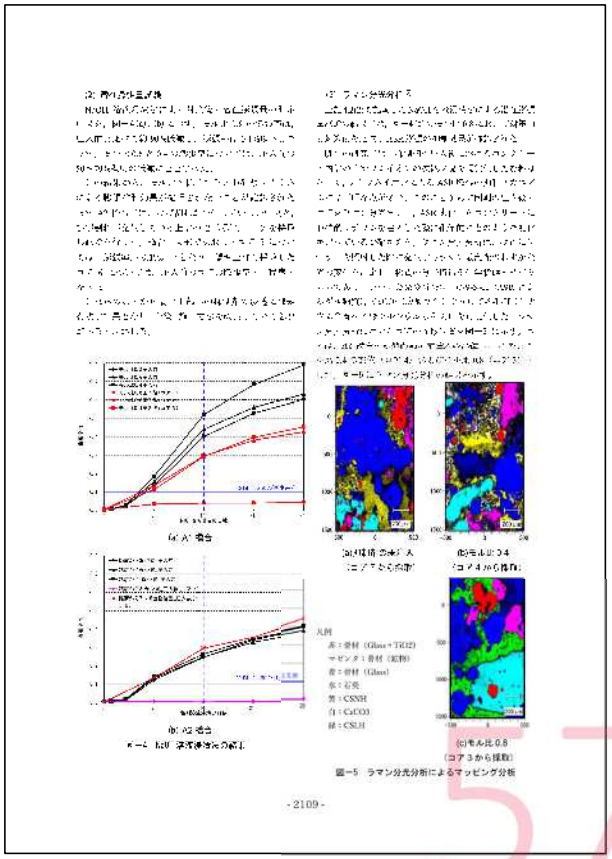
# 亜硝酸リチウム内部圧入工法『リハビリ圧入工法』　NETIS:KK-010026-A(掲載終了)

| | |
|---|---|
| 題目 | ｱﾙｶﾘｼﾘｶ反応により劣化したｺﾝｸﾘｰﾄ構造物に対する亜硝酸ﾘﾁｳﾑ圧入工法による補修に関する検討 |
| 著者 | 稲葉 尚文･石川 裕一･河尻 留奈･可計 皓規　（主な研究機関;中日本高速道路） |
| 出典 | コンクリート工学会年次大会2026（奈良） |



報告　アルカリシリカ反応により劣化したコンクリート構造物に対する亜硝酸リチウム圧入工法による補修に関する検討

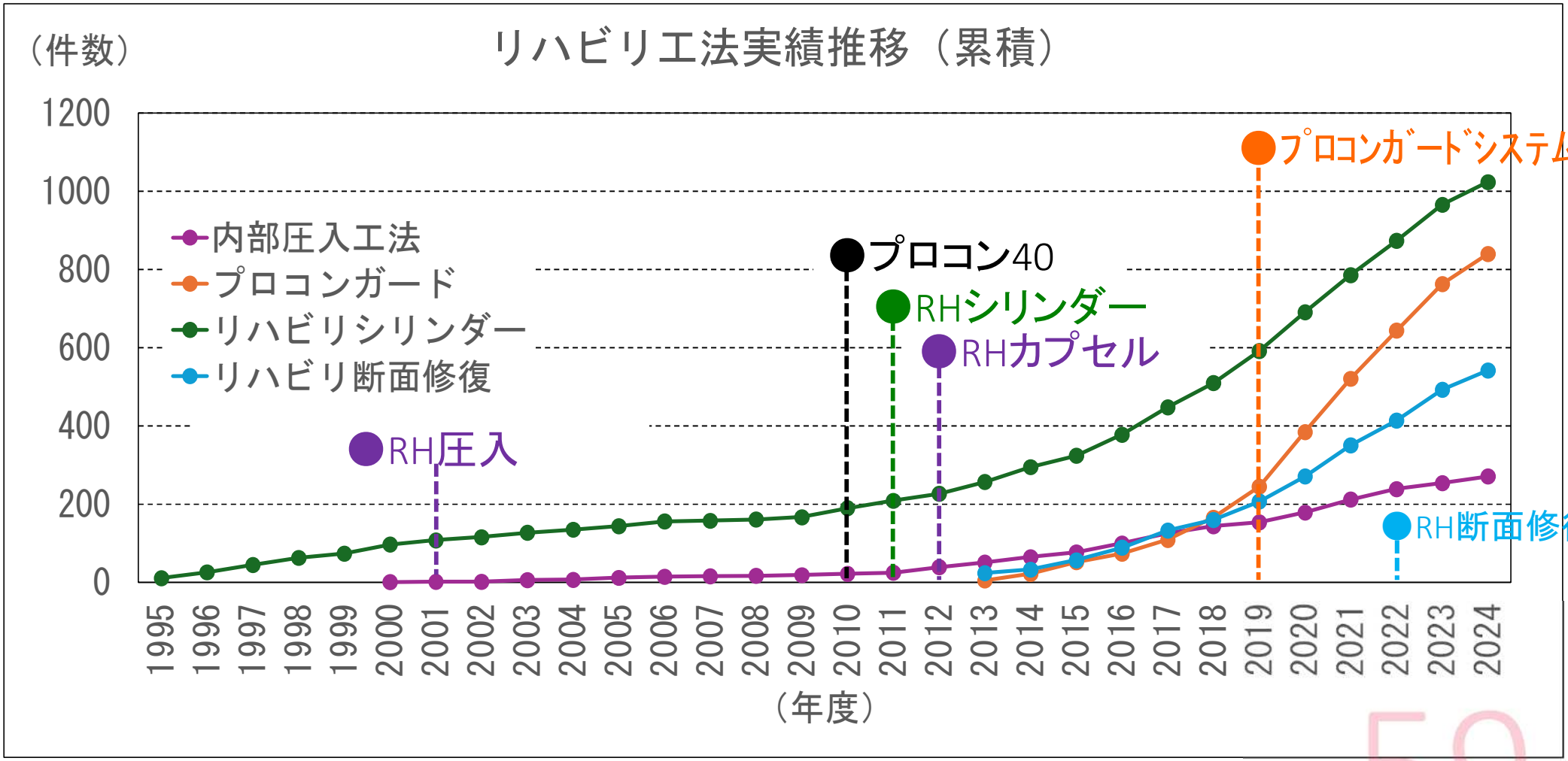




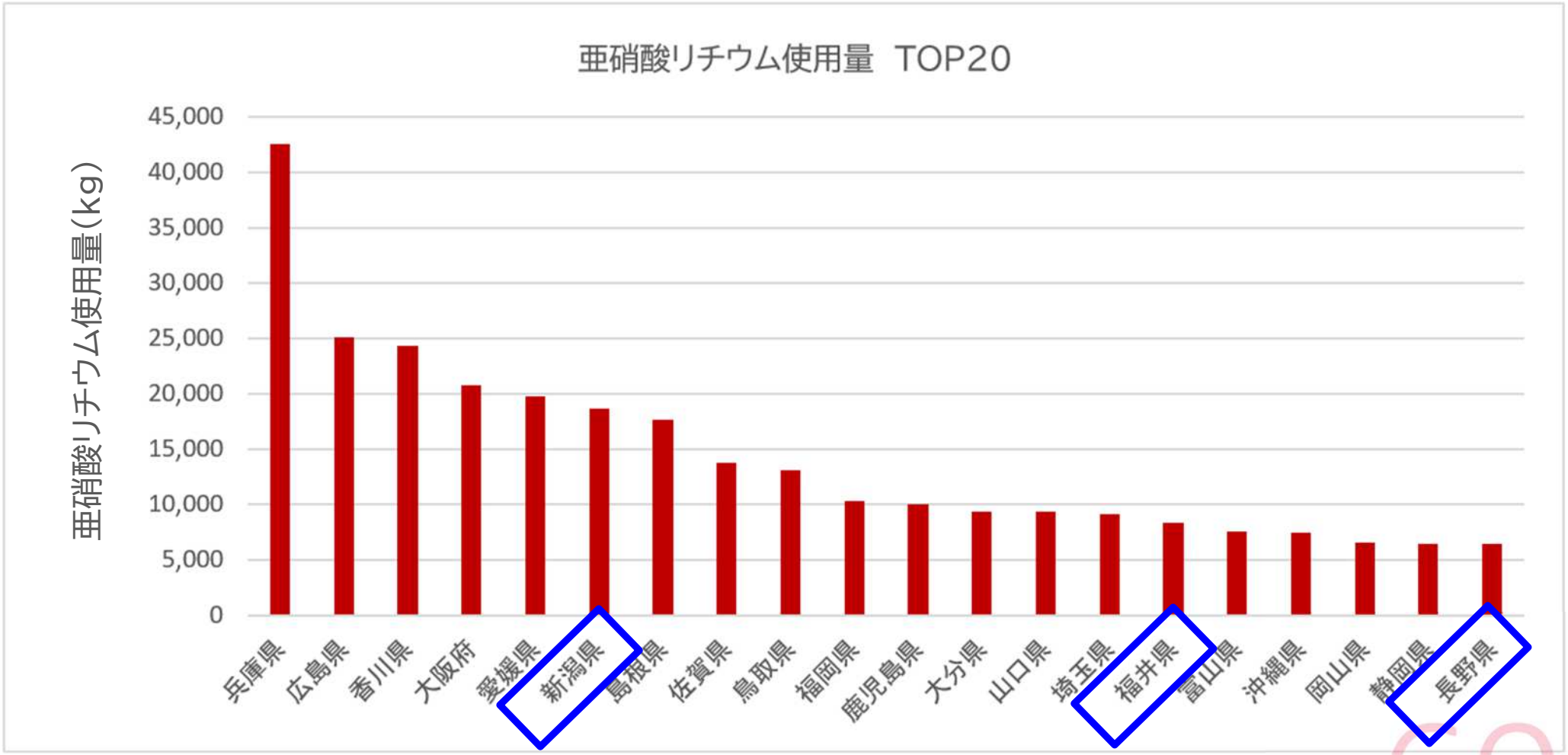
# 2.6 亜硝酸リチウムを用いた
# 各種補修工法の施工実績



# 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）



# 都道府県別　亜硝酸リチウム累積使用量　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

↓

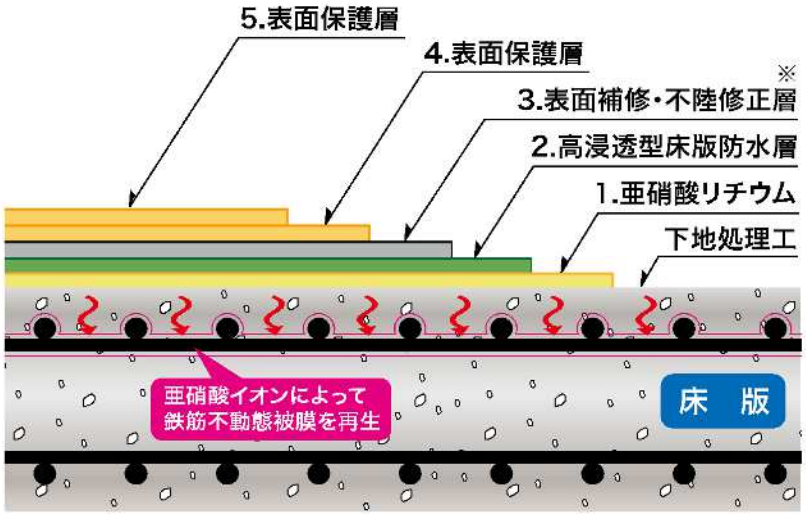
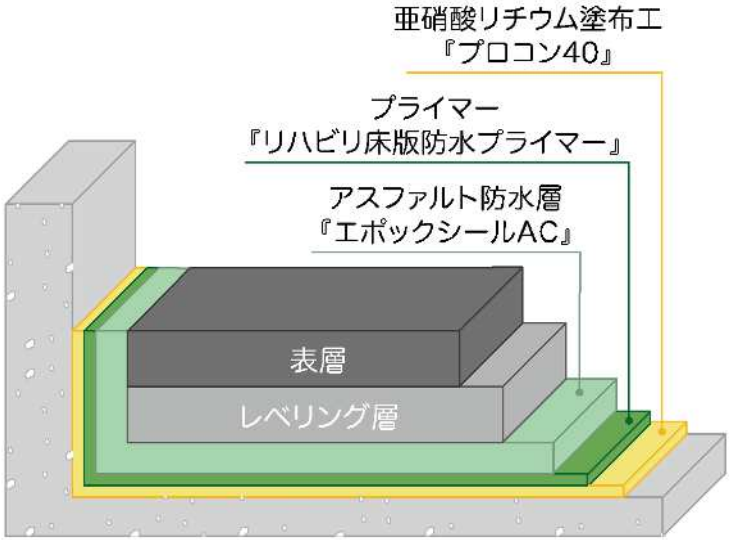
道路橋の維持管理には床版防水工が極めて重要

【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:金鏝での施工)



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)』



❶下地処理工



❷亜硝酸リチウム塗布工



❸プライマー塗布工



❹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物イオンが侵入し、橋造安全性を著しく低下させる上で非常に重要なPC鋼材の著しい腐食や破断の事例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特殊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、橋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）



ポストテンション方式PC桁橋の主ケーブルで発生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特殊材が、鋼材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、せん断補強、傾斜ケーブル・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-120106-VR）

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）

PCグラウト充填不足部補修（リパッシブ工法）

# 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）

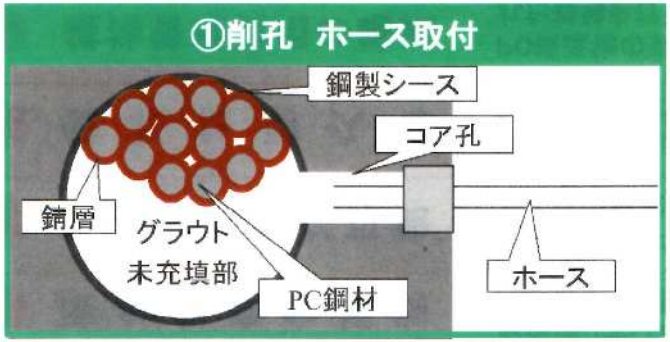
## 実績 achievements

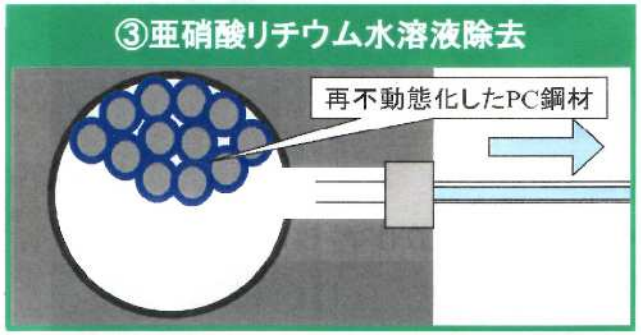
| 国交省 | 地方自治体 | NEXCO | 道路会社 | 鉄道 | 合計(件) |
|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 128 | 10 | 5 | 5 | 170 |

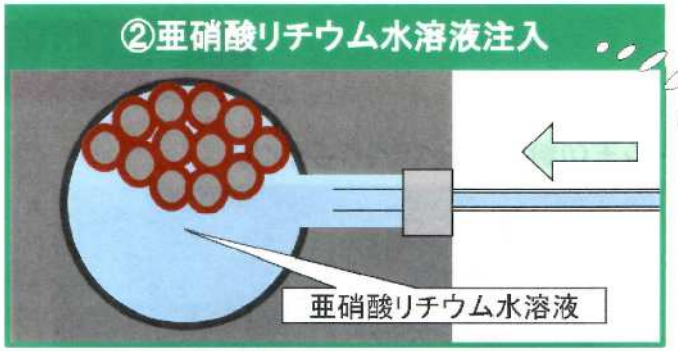
2025年3月現在

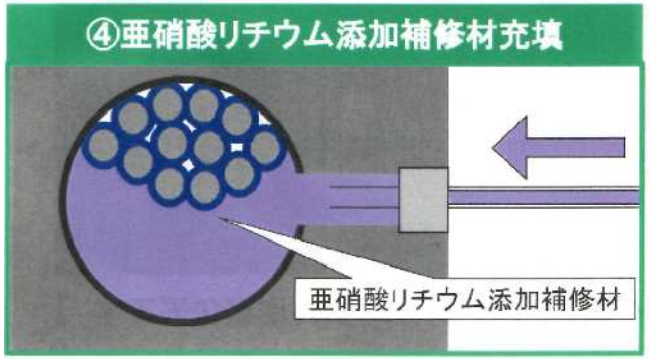
# PCグラウト充填不足部補修『リパッシブ工法』

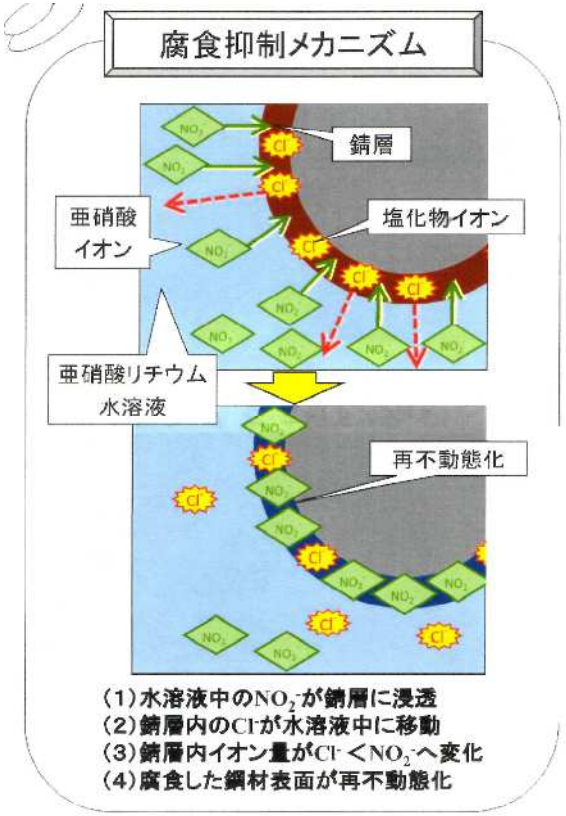
## 施工手順 procedure





ピーエス・コンストラクション

〒105-7365 東京都港区東新橋1-9-1
東京汐留ビルディング18F
技術本部技術部 TEL：03-6385-8050

# 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





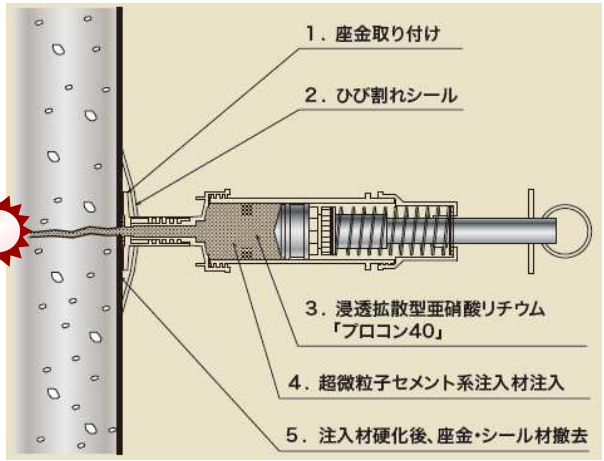
# 新設構造物の竣工前に発生した初期ひび割れへの対応

【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、局部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



# 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)




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

解説者：
東京大学　教授　　野口 貴文

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。歴史的第一歩の記録です。

# 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**