

亜硝酸リチウムを用いた補修技術と その施工事例の紹介

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
極東興和株式会社

江良 和徳

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

1.はじめに

- 亜硝酸リチウムとは

2.亜硝酸リチウムを用いた補修技術

- 工法概要
- 亜硝酸リチウム必要量算定の考え方
- 積算
- 比較検討

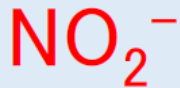
3.亜硝酸リチウム活用事例と効果検証・追跡調査

- 塩害補修として
- 中性化補修として
- ASR補修として

1.はじめに

●亜硝酸リチウムとは

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

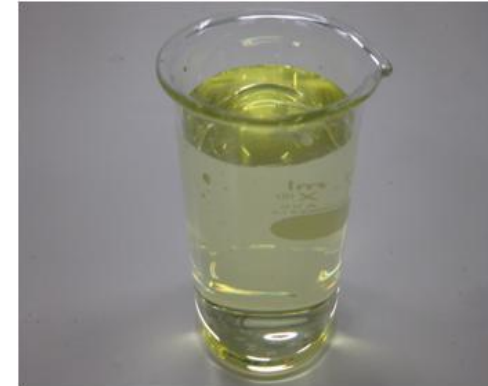
リチウムイオン



アルカリシリカゲルを
非膨張化

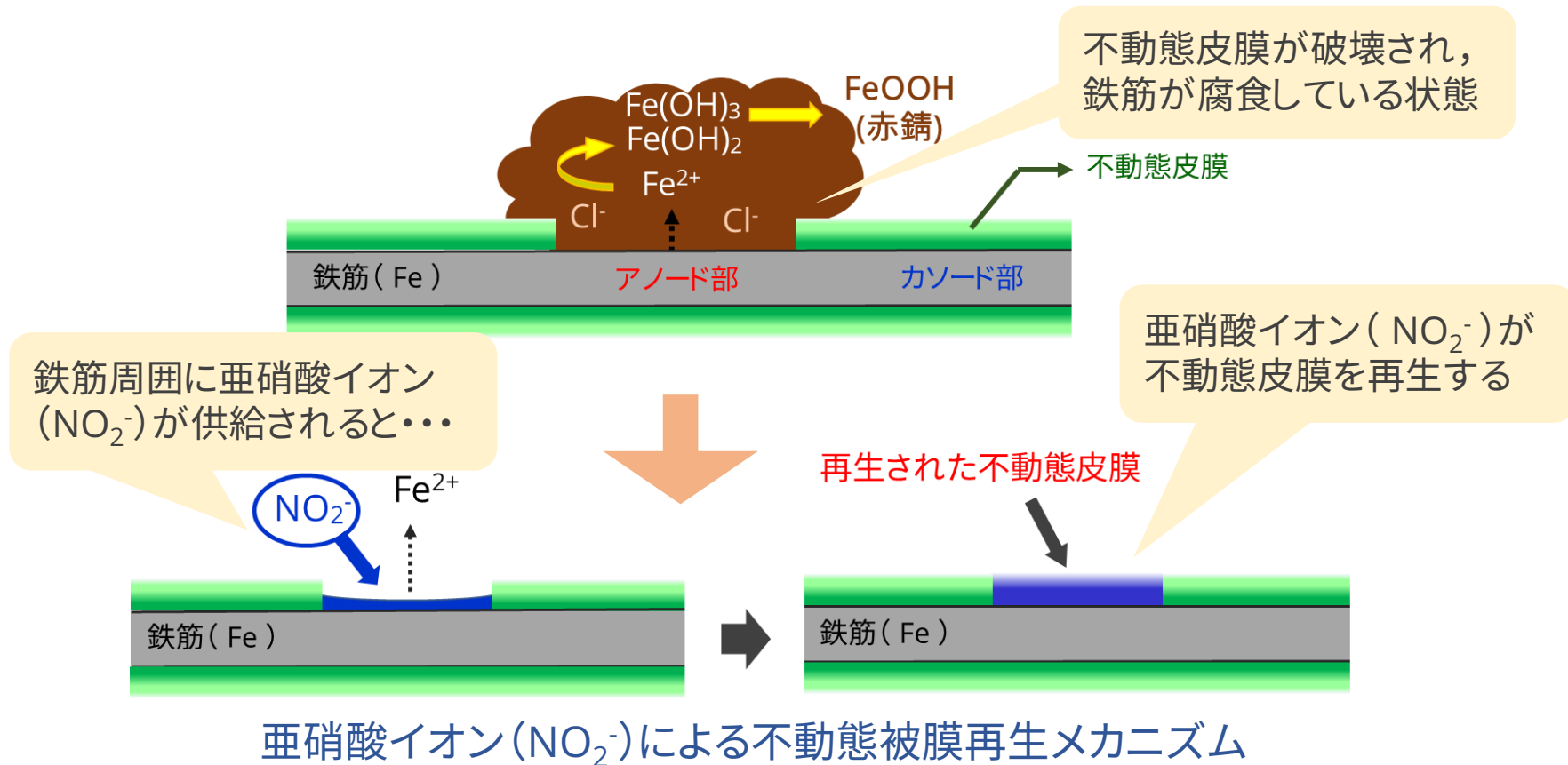


ASR 対策



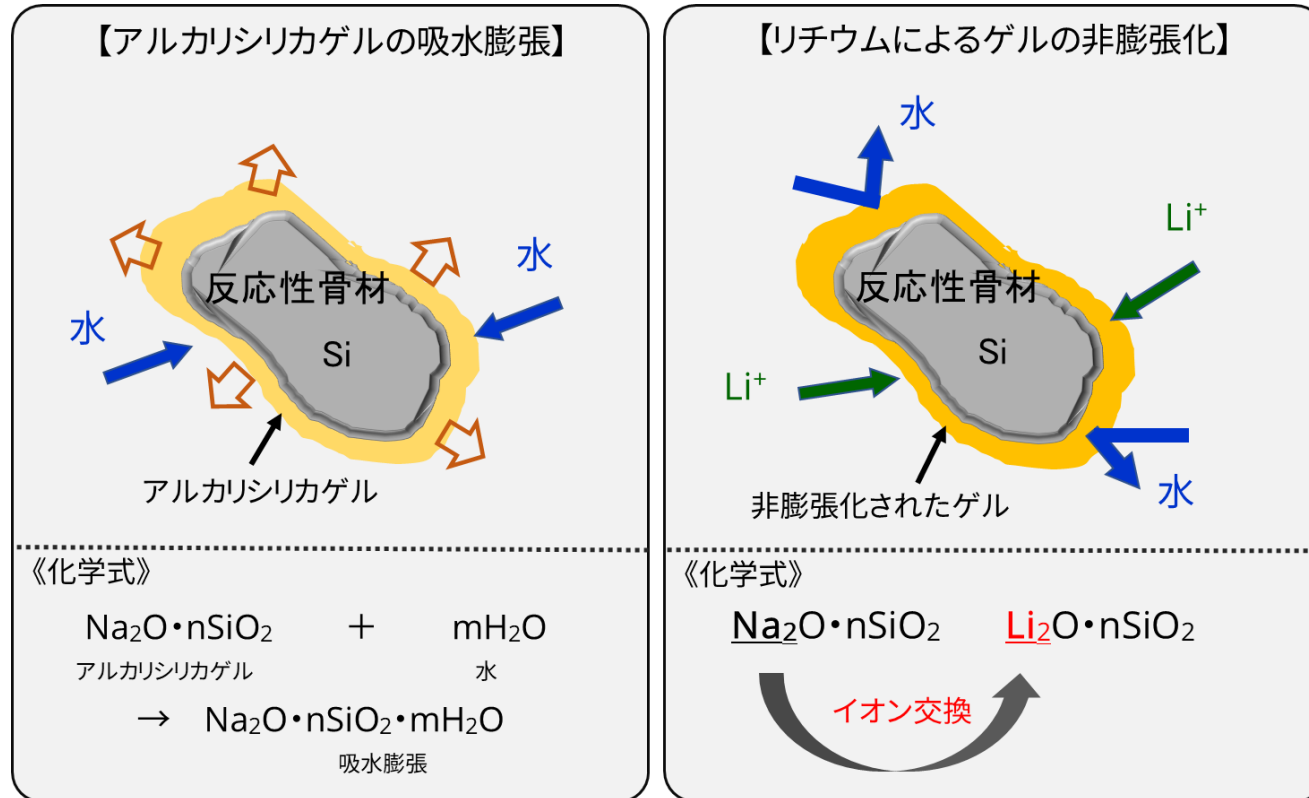
- ・亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有するコンクリート補修材料
- ・原材料は「天然ガス」、「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40% (限界濃度)

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制



- 塩害、中性化はいずれも不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題
⇒ 塩害、中性化対策とは、共に鉄筋腐食の抑制を図ること
- 亜硝酸イオン (NO_2^-) の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告

リチウムイオンによるASRゲルの非膨張化



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

- ASRは反応性骨材周囲に生成したアルカリシリカゲルの吸水膨張
⇒ ASR対策とは、ゲルの吸水膨張を抑制すること
- リチウムイオン(Li^+)のASR膨張抑制に関する研究は1950年代から多数報告

亜硝酸リチウム必要量の基本的な考え方

【塩害の場合】

- ・鉄筋腐食を抑制す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】

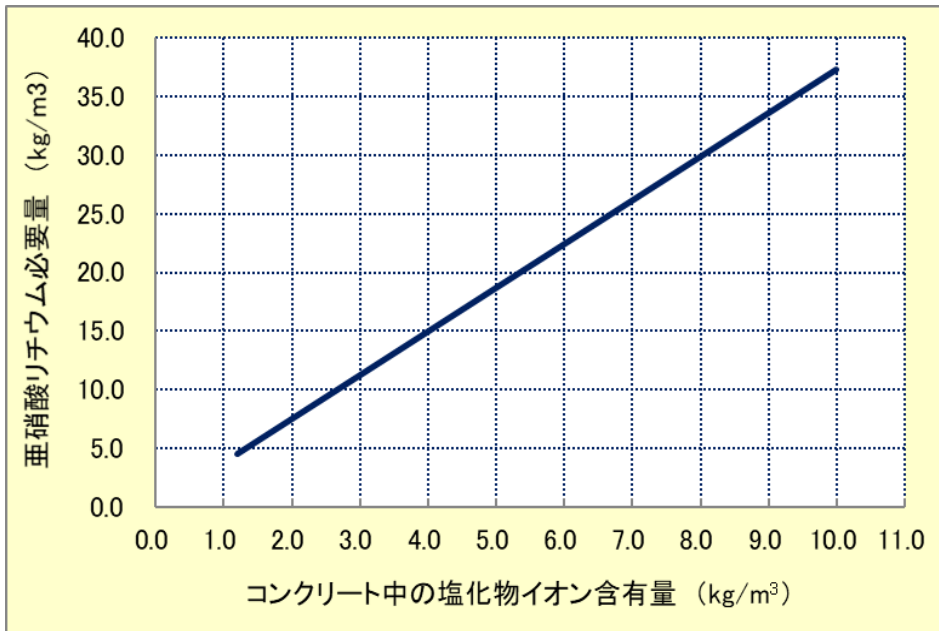
- ・鉄筋腐食を抑制する亜硝酸イオンの量
- ・過去の経験により一定量とする
- ・一律で亜硝酸リチウム 7.45kg/m^3

【ASRの場合】

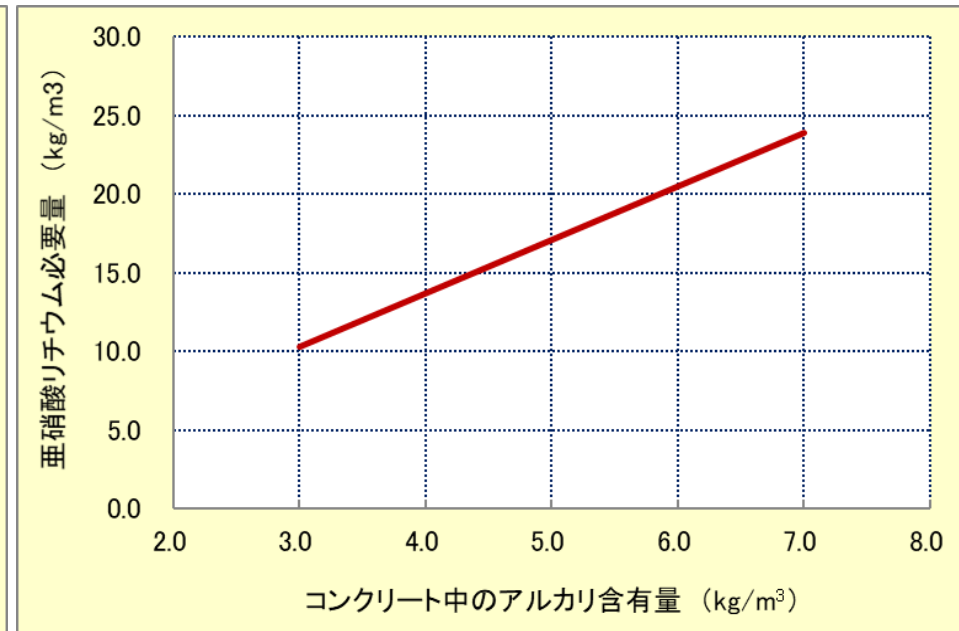
- ・アルカリシリカゲルの膨張を抑制するリチウムイオンの量
- ・ $[\text{Li}^+]/[\text{Na}^+]$ モル比=0.8となる量
- ・コンクリート中のアルカリ含有量(試験値)に応じて算定
例) アルカリ含有量 $4.0\text{kg/m}^3 \Rightarrow$ 亜硝酸リチウム 13.67kg/m^3

※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

亜硝酸リチウム必要量の基本的な考え方



亜硝酸リチウム必要量【塩害】



亜硝酸リチウム必要量【ASR】

- 塩化物イオン量やアルカリ含有量から、亜硝酸リチウム必要量を算出できる。
- ただし、補修工法によって亜硝酸リチウムの物理的な供給可能量が異なる。



- 工法毎にどのように亜硝酸リチウムを供給し得るのかを考慮して設計する。

2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

- 工法概要
- 亜硝酸リチウム必要量算定の考え方
- 積算方法
- 工法選定のための比較検討

ひび割れ注入工法 『リハビリシリリンダー工法』

NETIS:CG-110017-VR



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機!

ひび割れ低圧注入『リハビリシリリンダー工法』は、注射機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』に内蔵された特殊スプリングにより、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、緻密な硬化体を形成します。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潤状態が長期間持続し、注入材の充填性がさらに向上します。

塩害・中性化・ASRによるひび割れに対応!

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変化因子の遮断です。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致密化効果およびASR膨張抑制効果も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: $Q: 1\text{MPa} \sim 0.2\text{MPa}$ 程度
ひび割れ幅: $Q: 2\text{mm} \sim 1\text{Q}, 0\text{mm}$ 程度

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. 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ルします。
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、シール材を除去します。

工法概念図

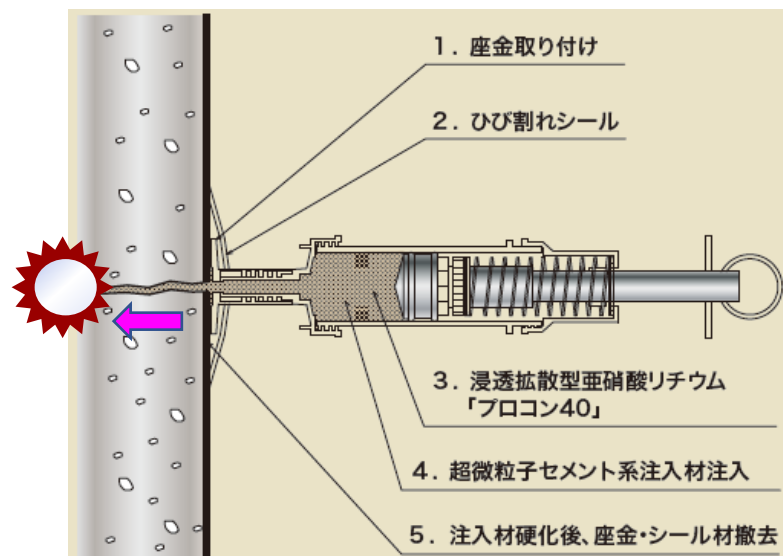
ひび割れ注入工

リハビリシリリンダー設置状況

プロコン40の先行注入状況

超微粒子セメント系注入材の注入状況

リハビリシリンダー工法の工法概要



- 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』

適用範囲

コンクリート構造物全般 (RCおよびPC)

亜硝酸リチウム注入量の考え方

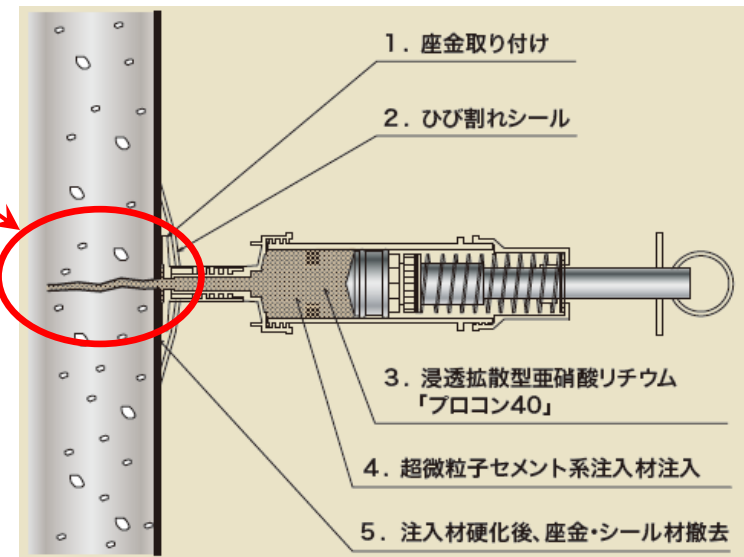
ひび割れ注入工における注入材の注入量はひび割れの体積で物理的に決まる。



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】

- ひび割れ幅は実測できる
- 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
- ひび割れの幅、深さ、延長よりひび割れ体積を推定する
⇒ひび割れ体積に物理的に注入し得る量を注入量とする
- 使用材料には適切なロス率を計上する
⇒JCMAでは以下のようにロス率を推奨している
超微粒子セメント系注入材：50%
亜硝酸リチウム：30%



リハビリシリンダー工法の積算

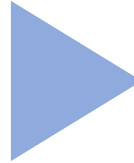
- ・リハビリシリンダー工法の積算は基本的に国土交通省歩掛に準拠
- ・1構造物あたりひび割れ述べ延長25m以上の場合の積算例
(ひび割れ幅0.2～1.0mm、深さ120mmの場合)

10mあたり

名称	単位	数量	単価	金額
土木一般世話役	人	0.58	20,500	11,890
特殊作業員	人	0.96	20,200	19,392
普通作業員	人	0.71	18,300	12,993
亜硝酸リチウム	kg	1.17	4,100	4,797
超微粒子セメント系注入材	kg	1.08	1,400	1,512
シール材	kg	2.6	973	2,530
注入器	本	40	360	14,400
諸雑費	%	20		8,855
計				76,369
1mあたり				7,637

※労務単価：広島県 令和2年度

リハビリシリリンダー工法の比較検討の例



- ひび割れに対し、ひび割れを閉塞して劣化因子の侵入を遮断する

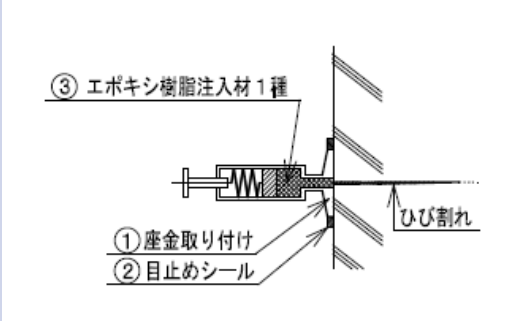
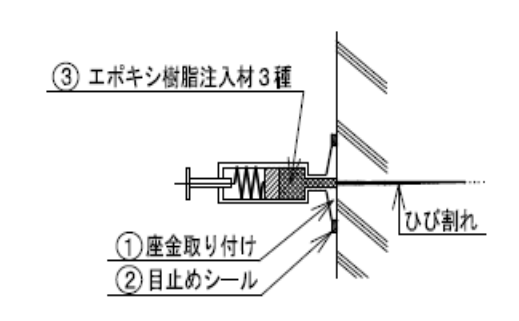
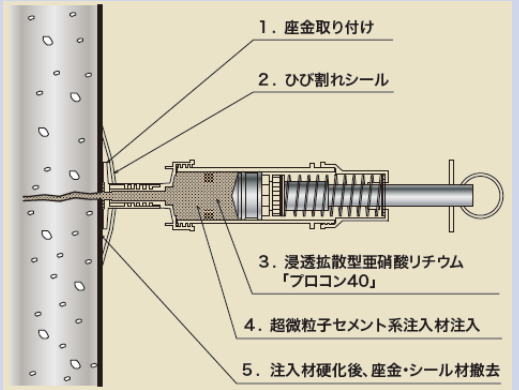


それだけでいいの？

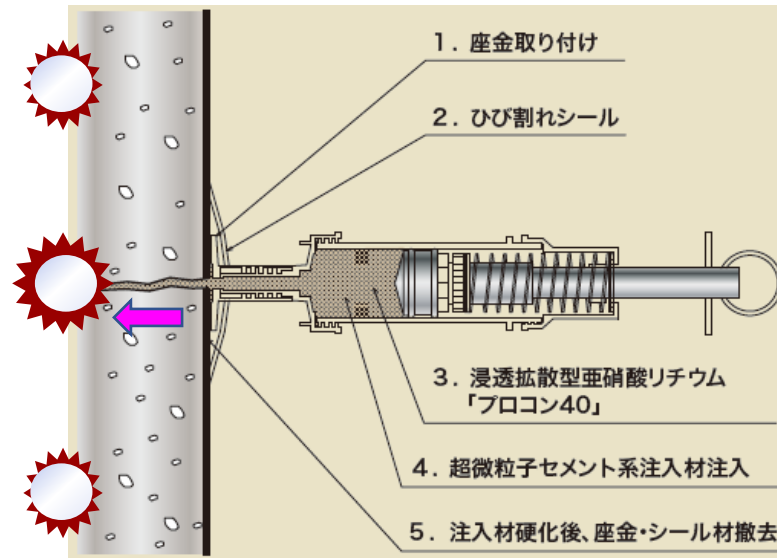
- ひび割れが発生した原因は何なのか？
- 塩害や中性化など、鉄筋腐食に起因するひび割れであるならば、ひび割れ注入工法を選定するポイントのひとつは、

「不動態皮膜再生効果の有無」

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	7,000～8,000円/m	7,000～8,000円/m	7,600円/m

リハビリシリンダー工法の適用にあたって



・リハビリシリンダー工法によって鉄筋腐食抑制効果を付与できるのは、
ひび割れを発生させた鉄筋のみ



・腐食は進行しているものの、まだひび割れまで発生させていない多数の鉄筋には、
なんら影響を与えない



・将来的には別の箇所で新たなひび割れが発生する可能性はある

表面含浸工法 『プロコンガードシステムS』

NETIS:CG-190024-A



REHABILITATION

プロコンガード

リハビリ工法

亜硝酸リチウムとシラン・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S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、シラン・シロキサンを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歩踏み込んだ予防保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（シラン・シロキサン系含浸材）がコンクリート表層部で、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層部では、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（不動態皮膜再生）
- 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（不動態皮膜再生）
- 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
サンダーグレン及び高圧水洗い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』は規定量を必ず塗布して下さい。
- 『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6%以下）
- 0℃以上で施工して下さい。



性状：ジェル状

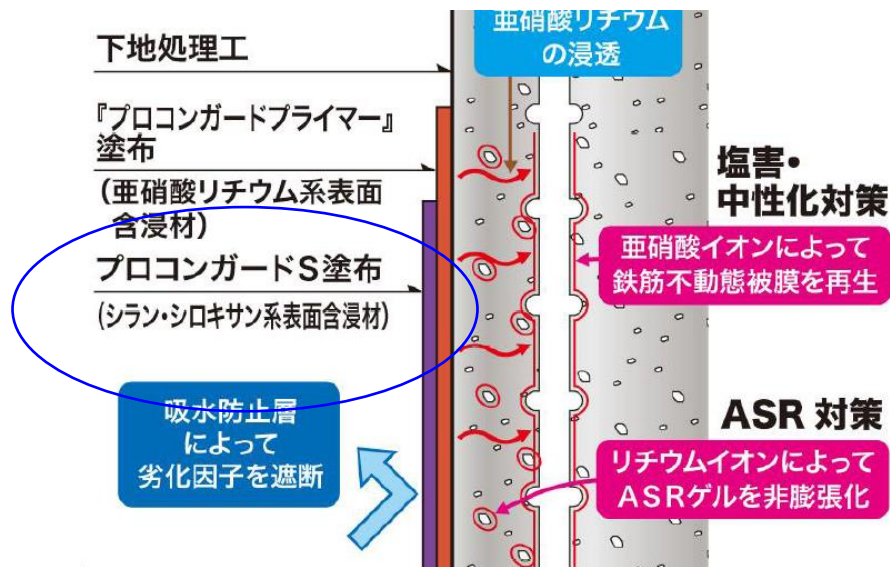


吸水防止層：均一・高密度

施工概念図



プロコンガードシステムSの工法概要



- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、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

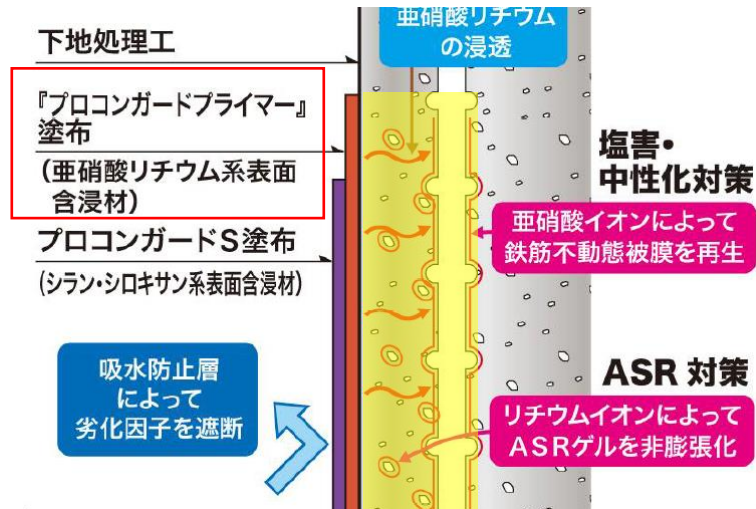
期待できる性能、効果

- 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』

適用範囲

コンクリート構造物全般 (RCおよびPC)

亜硝酸リチウム塗布量の考え方



- 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。

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

『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

プロコンガードシステムSの積算

- ・プロコンガードシステムSの積算はコンクリートメンテナンス協会歩掛に準拠
- ・1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例
(亜硝酸リチウム標準塗布量の場合)

100m ² あたり				
名称	単位	数量	単価	金額
土木一般世話役	人	2.0	20,500	41,000
特殊作業員	人	6.0	20,200	121,200
普通作業員	人	2.0	18,300	36,600
亜硝酸リチウム系含浸材	kg	33.0	4,100	135,300
シラン・シロキサン系含浸材	kg	19.8	7,850	155,430
諸雑費	%	5		9,940
計				499,470
1m ² あたり				4,995

※労務単価：広島県 令和2年度

使用材料のロス率(JCMA)

⇒亜硝酸リチウム系含浸材 :10%

シラン・シロキサン系含浸材:10%

プロコンガードシステムSの比較検討の例



- 塩害や中性化の「進展期」の予防保全や「加速期前期」の事後保全において、劣化因子を遮断するために表面含浸工法を適用する



それだけでいいの？

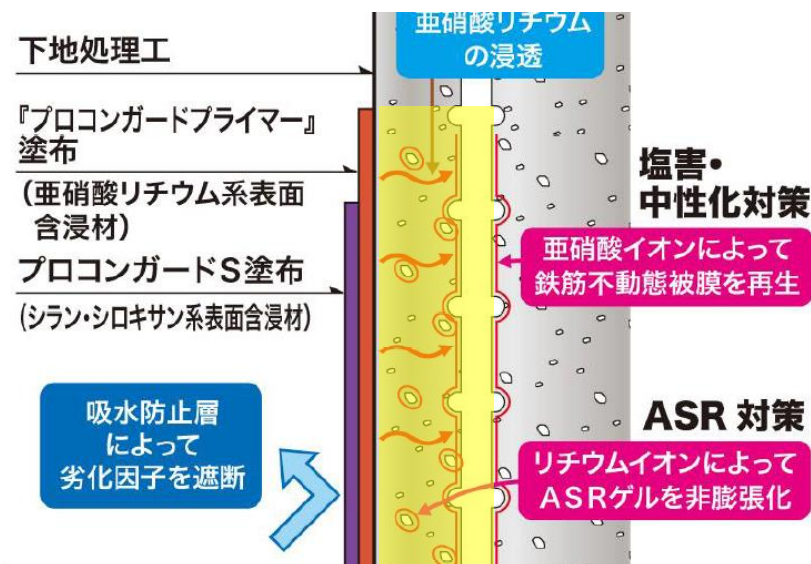
- 進展期以降は既に不動態皮膜が破壊されており、腐食が開始している
- 劣化因子の遮断だけでは不十分であり、工法を選定するポイントのひとつは、

「不動態皮膜再生効果の有無」

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			
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
経済性	4,000～5,000円/m	3,000～4,000円/m	5,000円/m

プロコンガードシステムSの適用にあたって



- プロコンガードシステムSによる鉄筋腐食抑制効果が発揮されるのは、**亜硝酸イオンが鉄筋まで到達した場合のみ**



- 亜硝酸イオンの浸透、拡散には**長期間**を要する
亜硝酸イオンの浸透、拡散の**深さ**には**限界**がある



- 適する条件は【**かぶりが小さい**】、【**鉄筋腐食程度が軽微**】、【**予防保全**】

断面修復工法

『リハビリ断面修復工法』



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。塩化物イオン量・アルカリ総量に達した際の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、湿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適用する場合、劣化したコンクリートをハンマー取り崩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%水溶液を注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、鉄筋表面の亜硝酸リチウムによる防錆効果と持続させ、鉄筋の腐食を抑制し、劣化を抑制します。

施工仕様

補修方法：左官工法・湿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

鉄筋防錆材：「プロコンガードプライマー」（亜硝酸リチウム系表面塗料）「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. コンクリートの劣部を電動ピック等ではつり取ります。
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. はつり部に「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。（電分量によって配合量を調整する。）

物性例

試験項目	材料	亜硝酸リチウム20%配合	亜硝酸リチウム50%配合	備考
圧縮強度 (N/mm ²)	1日	21.4	20.3	40×40×160mm 試験体
	7日	47.2	42.6	
	28日	60.3	57.2	
引張強度 (N/mm ²)	1日	4.7	4.7	40×40×160mm 試験体
	7日	8.5	8.3	
	28日	9.4	9.3	
長さ変化率 (x10 ⁻⁴)	28日	-4.3	-4.7	40×40×160mm 試験体20℃、60%RH
促進中性化深さ (mm)	28日	0	0	30℃、60%RH、CO ₂ ≒5%

※試験体サイズ：保型値ではありません。
※リハビリペーストSPにPSL-40を混入した、物性値です。

施工要領

①不良部はつり除去

②「プロコンガードプライマー」
（亜硝酸リチウム系表面塗料）塗布

③「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）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

① 着工前、劣化の状況

●施工前、劣化部（図）に鉄筋が露出している。

●劣化部は、鉄筋の周囲にコンクリートの厚さが確認された。

② はつり完了

●断面修復を行う範囲のはつり完了。

●劣化部の周囲にコンクリートの厚さが確認された。

③ 鉄筋クレン

●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、亜硝酸リチウムを含有した「リハビリペースト」を鉄筋表面に塗布する。

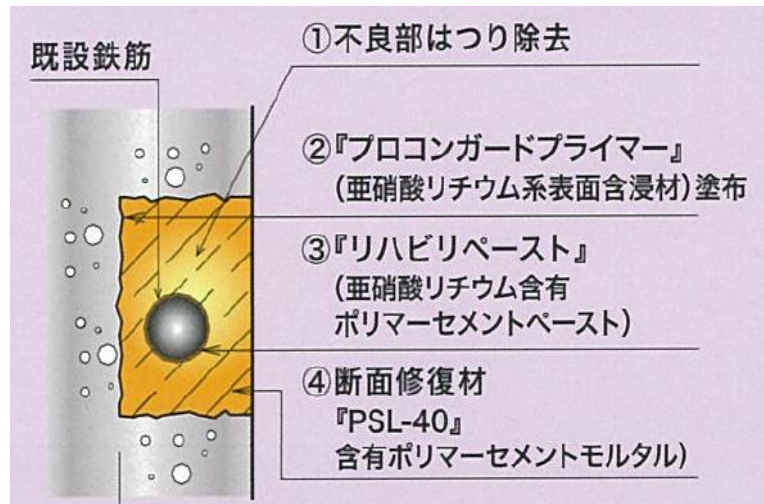
⑤ 断面修復

●断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液「PSL-40」を注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「PSL-40」を注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。

リハビリ断面修復工法の工法概要



- ①かぶりコンクリートの不良部をはつとり、鉄筋を露出させる
- ②露出した鉄筋の錆をケレンした後、亜硝酸リチウム系含浸材および
亜硝酸リチウム含有ペーストを塗布する ⇒ 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断面を修復する ⇒ 鉄筋防錆

期待できる性能、効果

- 基本性能 : 『コンクリート脆弱部の除去と修復』
付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

適用範囲

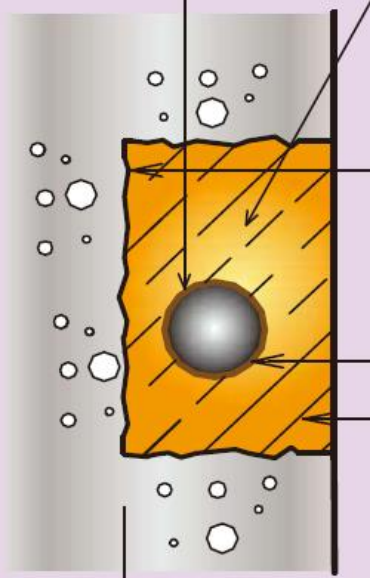
コンクリート構造物全般 (RCおよびPC)

亜硝酸リチウム混入量の考え方

【混入量の考え方① 塩化物イオン濃度に応じた混入量】

塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	3.0	5.0	7.0	10.0	15.0
断面修復材への 亜硝酸リチウム混入量 (kg/m ³)	11.3	18.8	26.3	37.3	56.0

既設鉄筋



【混入量の考え方② NEXCO設計要領 第二集 橋梁保全編】

4-6 塩害対策

4-6-6 材料

断面修復材に防錆材を入れる場合には、亜硝酸リチウムを
固形分で55kg/m³※混入させるとよい。

※亜硝酸リチウム40%水溶液で137.5kg/m³

【塗布量の考え方】

亜硝酸リチウム系含浸材の塗布量 : 一律で0.3kg/m²
亜硝酸リチウム含有ペーストの塗布量 : 一律で2mm厚

リハビリ断面修復工法の積算

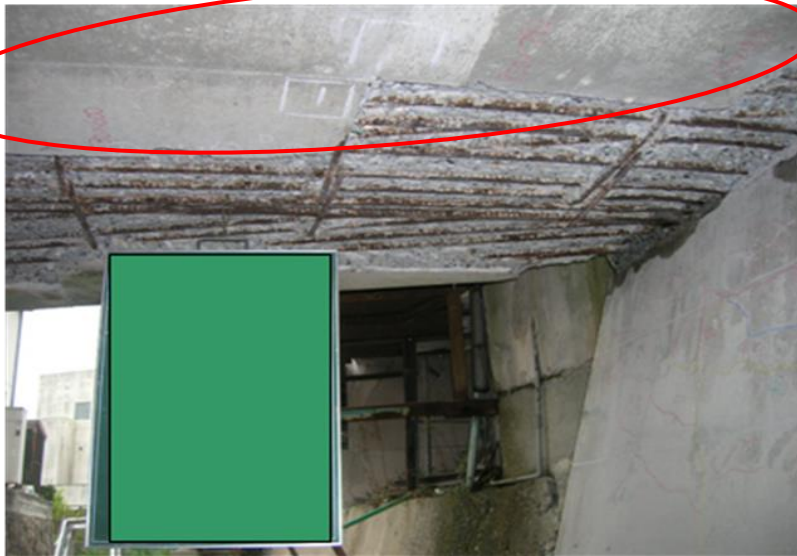
- ・リハビリ断面修復工法の積算は基本的に国土交通省歩掛に準拠
- ・1構造物あたり断面修復述べ体積 0.1m^3 以上の場合の積算例
(左官工法、鉄筋ケレン・防錆処理含む)

0.1 m^3 あたり

名称	単位	数量	単価	金額
土木一般世話役	人	2.3	20,500	47,150
特殊作業員	人	3.8	20,200	76,760
普通作業員	人	2.5	18,300	45,750
ポリマーセメントモルタル	kg	206.5	260	53,690
亜硝酸リチウム	kg	2.2	4,100	9,020
諸雑費	%	11		18,663
計				251,033
1 m^3 あたり				2,510,326

※労務単価：広島県 令和2年度

リハビリ断面修復工法の適用にあたって



- 浮き、剥離箇所は必然的に断面修復を行うはず
⇒ 露出した鉄筋を亜硝酸リチウムで防錆処理して断面修復
- 問題は、断面修復した範囲以外をどうするか？
⇒ 同じ塩害環境であれば、高い塩化物イオンが残っている
当然、鉄筋は腐食環境にあり、将来的に変状が顕在化する

断面修復箇所以外の範囲にある鉄筋についても腐食抑制を検討

内部圧入工法(その1) 『リハビリカプセル工法』

NETIS:CG-120005-VR



**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『リハビリカプセル工法』は、アルカリシリカ反応(ASR)によって著しく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反応を非膨張化するため、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『リハビリカプセル工法』は、塩害や中性化によって著しく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。

簡易な圧入装置にて合理的に補修対策！

簡易型圧入装置『リハビリカプセル』は、大規模施工用の油圧式圧入装置『リハビリ注入機』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材料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：カプセル式圧入機『リハビリカプセル』
 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
 注入圧力：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毎に決定
 圧 入 孔：圧入径はφ10mm
 圧入間隔は500mmを標準とする
 (部材寸法や構造規模に応じて決定)
 圧入深さは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. ひび割れ注入および表面シールを行い、圧入時の『プロコン40』の漏れを防ぎます。
3. 鉄筋探査を行った後に圧入孔を削孔します。
4. リハビリカプセル、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工を行い、『プロコン40』の設計量を内部圧入します。
6. エボキシ樹脂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。

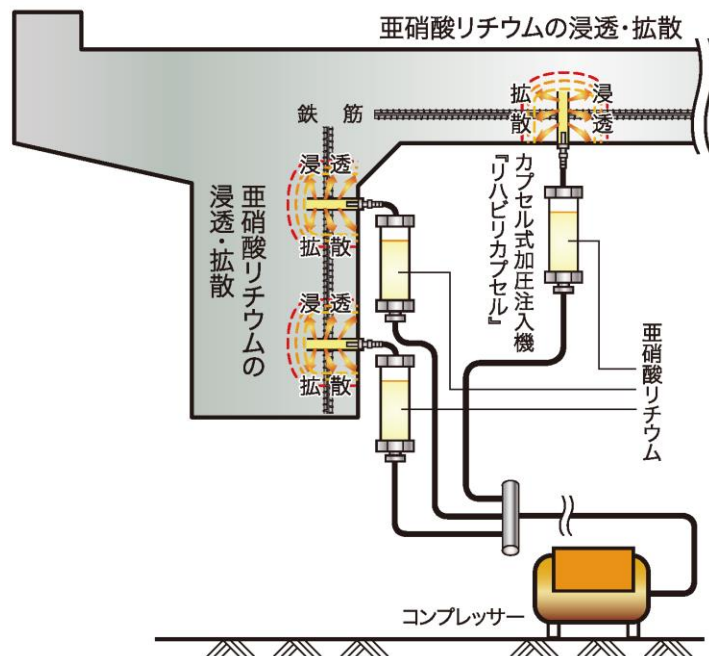
施工事例

リハビリカプセル工法施工状況

リハビリカプセル設置状況

工法概念図

リハビリカプセル工法の工法概要



- 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部材表層部(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

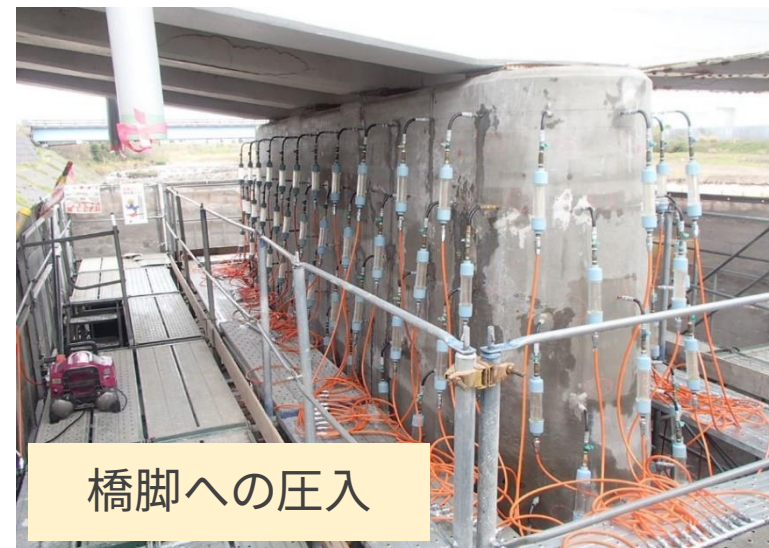
期待できる性能、効果

基本性能 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

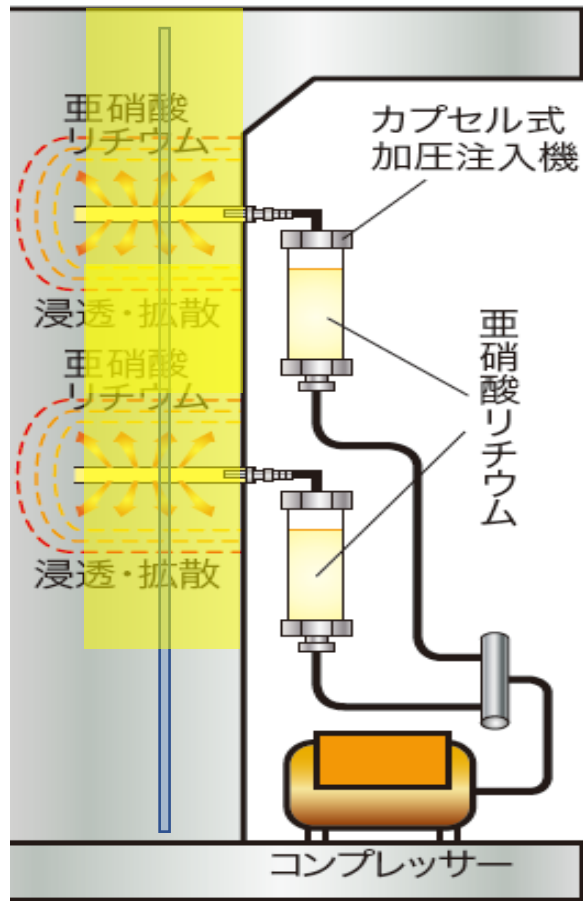
適用範囲

RC構造物全般 (PCは適用範囲外)

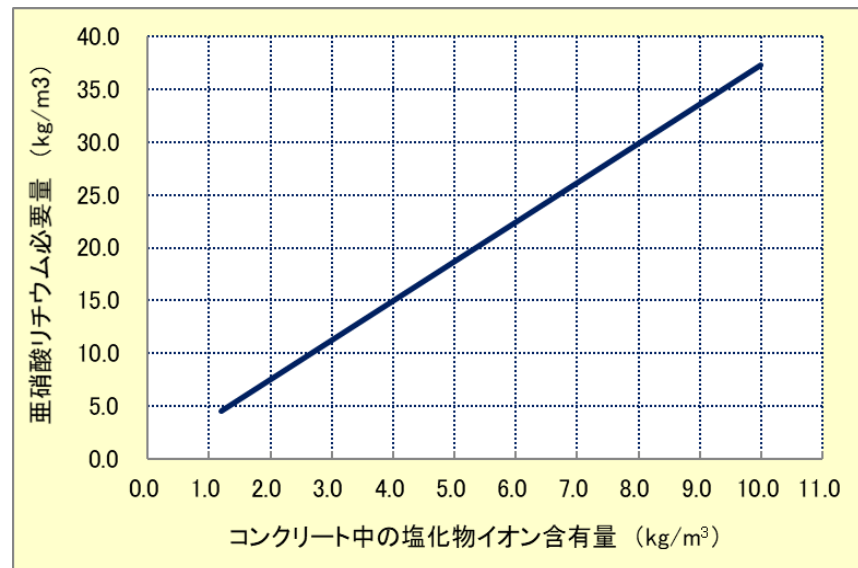
リハビリカプセル工法の施工状況



亜硝酸リチウム圧入量の考え方



- 塩害の場合には、 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0で必要量を定量的に算定する。
- 中性化の場合には、一律で $7.45\text{kg}/\text{m}^3$ とする。
- 圧入した亜硝酸リチウムがコンクリート表層部(鉄筋周辺)に浸透した状態を仮定して圧入量を決める。
- 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。



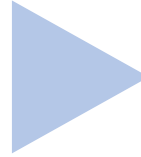
リハビリカプセル工法の積算

- ・リハビリカプセル工法の積算は**コンクリートメンテナンス協会歩掛**に準拠
- ・1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例
(塩害補修、塩化物イオン4.0kg/m³の場合)

100m²あたり

名称	単位	数量	単価	金額
下地処理工	m ²	100.0	2,047	204,700
鉄筋探査工	m ²	100.0	1,431	143,100
圧入孔位置出し工	m ²	100.0	831	83,100
圧入孔削孔工	m	46.0	7,055	324,530
パッカー・カプセル取付工	孔	460	5,155	2,371,300
圧入ホース配置工	孔	460	831	382,260
圧入工	孔	460	4,356	2,003,760
亜硝酸リチウム	kg	156.9	4,100	643,290
圧入孔充填工	孔	460	831	382,260
表面保護工	m ²	100.0	4,012	401,200
計				6,939,500
1m ² あたり				69,395

リハビリカプセル工法の比較検討の例



- 塩害や中性化の「加速期前期」や「加速期後期」の事後保全において、工学的判断と維持管理シナリオを総合的に考慮して工法を選定する

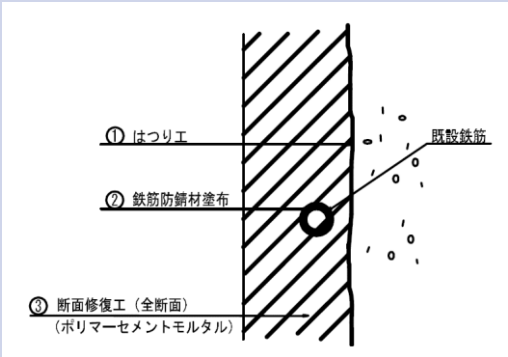
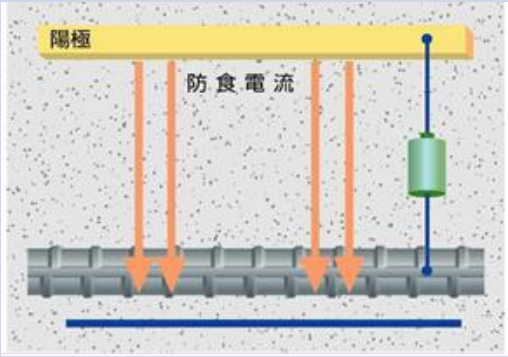
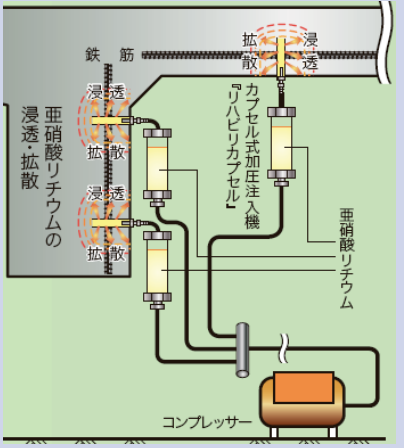


再劣化と再補修を繰り返すことが可能か？

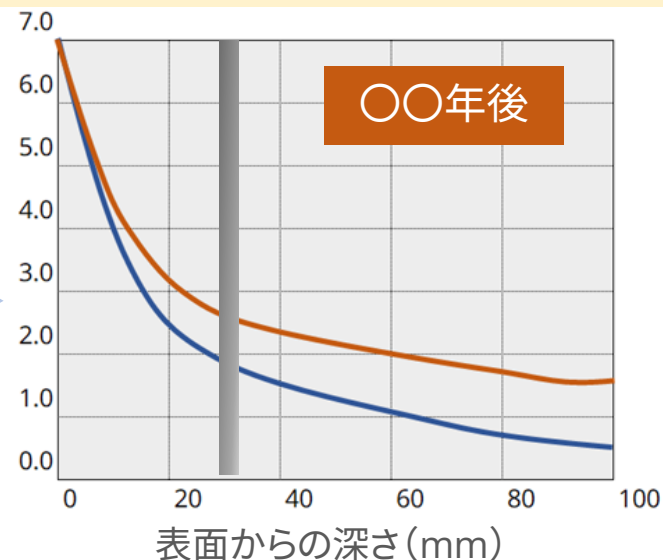
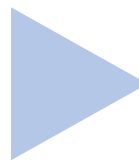
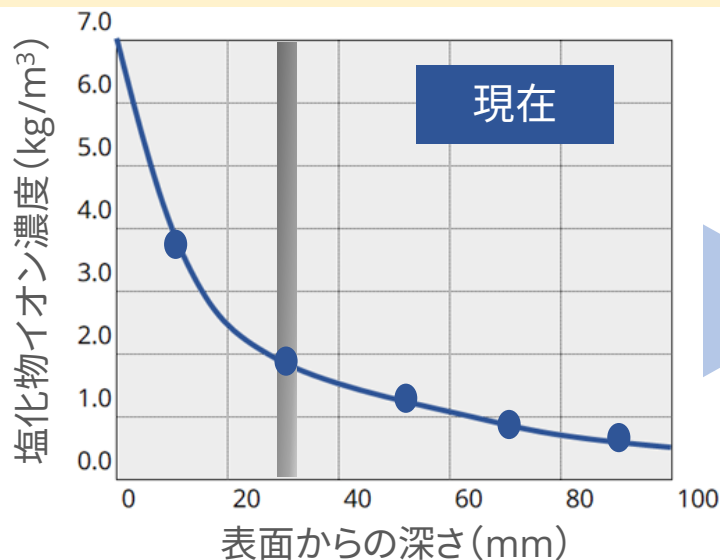
- 「アプローチが困難」、「仮設備の費用が膨大」、「これ以上性能低下を許容不可」、「LCC検討の結果で有利となる」などの条件のもとで工法選定する場合、

「再劣化を許容しない補修工法の中での比較検討」

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 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

リハビリカプセル工法の適用にあたって



【塩化物イオン濃度はどの値を使えばよいか？】

(1) 鉄筋位置の値

将来的に塩化物イオン濃度が大きくなる可能性がある

(2) かぶりコンクリート中の最大値

(1)よりは安全側となるため、簡易に検討する場合には推奨

(3) 拡散予測による〇〇年後の鉄筋位置の値

残存供用年数が明確な場合、Fickの拡散方程式により〇〇年後の鉄筋位置における塩化物イオン濃度を予測することが可能

リハビリカプセル工法に関する論文

『RC部材の背面側の鉄筋を対象としたリハビリカプセル工法による亜硝酸リチウムの浸透範囲に関する研究』（立命館大学）

川崎、康田、北田、江良；2020；JCI予防保全シンポジウム（投稿中）

『塩害劣化を受けたコンクリートへの亜硝酸リチウム圧入工法の適用性に関する基礎的研究』（福岡大学）

児島、櫛原、添田、大塚；2019；コンクリート工学年次論文集

『外観変化を考慮した鉄筋腐食に対する補修工法の検討および評価』（芝浦工業大学）

望月、濱崎、澁井、徳納；2019；コンクリート工学年次論文集

『相対温度および亜硝酸リチウムが鉄筋腐食に及ぼす影響に関する基礎的研究』（宮崎大学）

李、江良、辻、郭；2017；コンクリート工学年次論文集

『コンクリート中における亜硝酸イオンの腐食抑制メカニズムおよびその効果に関する基礎的研究』（京都大学）

高谷、須藤、内藤、江良、山本、宮川；2014；日本材料学会「材料」

内部圧入工法(その2) 『ASRリチウム工法』



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反応を抑制するため、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、鉄筋表面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と塩害による腐食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』
 即 用: 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濃度(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
 注入圧力: 0.5MPa～1.5MPaの範囲内でコンクリートの硬化程度に応じて構造物毎に決定
 圧 入 孔: 押孔径はφ10mmまたはφ20mm(型孔深は応じて決定)
 押孔間隔は500mm～1,000mm(押孔径や構造物に応じた決定)
 押孔深さは300mm～4,000mm

施工手順

1. 施工箇所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ルを行い、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開孔します。
4. リハビリ圧入機、高圧ポンプ、高圧バキューを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験高圧注入工を行い、圧入工の適合性を評価します。
6. 全圧入孔に対して一斉に本高圧注入工を行い、『プロコン40』の設計量を内部圧入します。
7. 高圧高圧ポンプ材により全圧入孔を完了します。
8. 表面を仕上げて施工完了です。

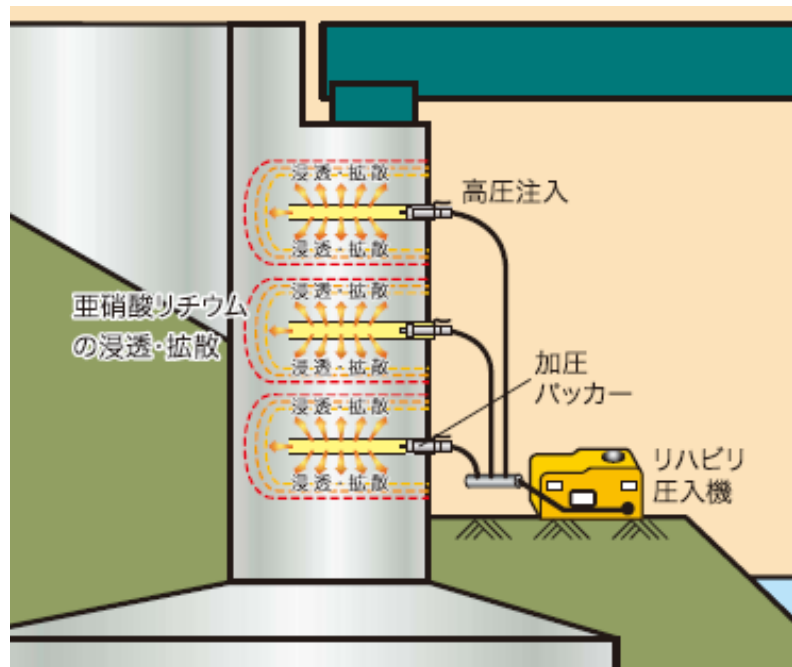
補修効果の検証

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(JCI-D02法)の例

工法概念図

ASRリチウム工法の工法概要



- 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』

適用範囲

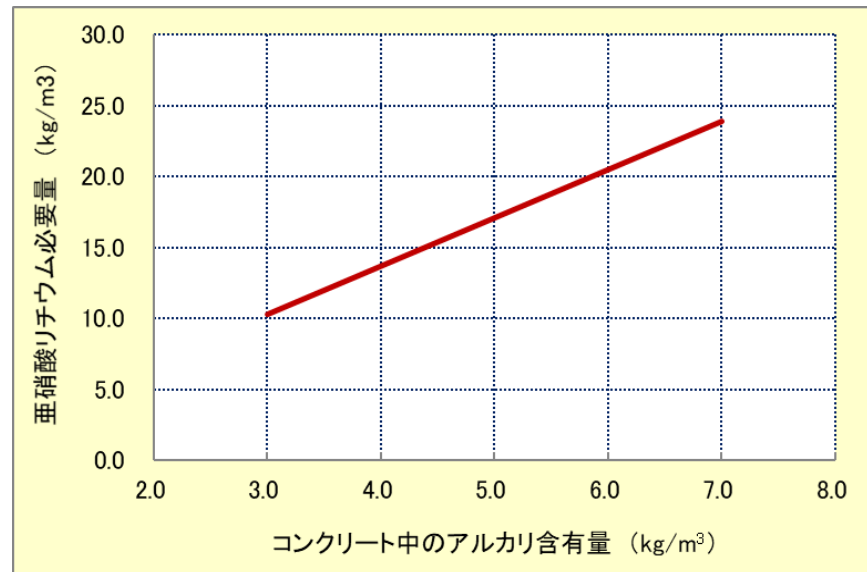
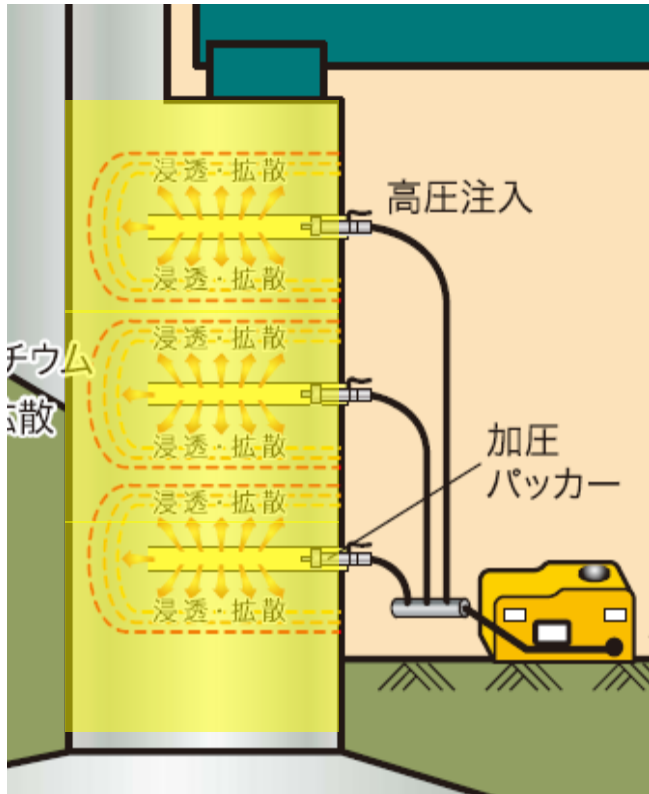
RC構造物全般 (PCは適用範囲外)

ASRリチウム工法の施工状況



亜硝酸リチウム圧入量の考え方

- ASRの場合には、 $[Li^+]/[Na^+]モル比=0.8$ で必要量を定量的に算定する。
- 圧入した亜硝酸リチウムがコンクリート中にある**全ての反応性骨材**に到達した状態を仮定して圧入量を決める。
- 圧入対象コンクリート範囲は**部材全体**となる。
- 圧入による浸透には**2週間～4週間程度**を要する。



ASRリチウム工法の積算

・ASRリチウム工法の積算はASRリチウム工法協会歩掛に準拠

・1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例
(橋脚、ASR補修、アルカリ総量4.0kg/m³)

100m²あたり

名称	単位	数量	単価	金額
下地処理工	m ²	100.0	2,895	289,500
表面シール工	m ²	100.0	5,339	533,900
鉄筋探査工	m ²	40.0	5,581	223,240
圧入孔位置出し工	m ²	40.0	3,326	133,040
圧入孔削孔工	m	80	18,753	1,500,240
加圧パッカー装着工	孔	100	20,030	2,003,000
耐圧ホース配管工	孔	100	4,158	415,800
試験加圧注入工	孔	100.0	6,985	698,500
本加圧注入工	孔	100	22,235	2,223,500
亜硝酸リチウム	kg	601.9	4,100	2,467,872
圧入孔充填工	孔	100	1,663	166,300
表面シール撤去工	m ²	100.0	4,550	455,000
表面保護工	m ²	100	3,929	392,900
計				11,502,792
1m ² あたり				115,028

ASRリチウム工法の比較検討の例



背面からの水分侵入が止められない？



既に再劣化している？

- ASRの「進展期」や「加速期」で、かつ膨張性が有害の事後保全において、工学的判断と維持管理シナリオを総合的に考慮して工法を選定する



着目点は？

- 水分侵入の遮断が可能な構造物か？
- 再劣化と再補修を繰り返すシナリオが選択可能か？

「維持管理シナリオも含めて比較検討する」

ASRリチウム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 ＋ ASRリチウム工法
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			
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

ASRリチウム工法の適用にあたって



橋脚への適用の場合
110,000～150,000円/m²



橋台への適用の場合
200,000～300,000円/m²

【橋台と橋脚で見かけの概略m²単価が大きく異なる】

- もともと、m²単価で表現ににくい工法
⇒ 鉄筋探査工や圧入孔数などは面積あたり
削孔深さや圧入量は体積あたり
- しかし、他の一般工法と比較検討するために、m²単価で表したい
⇒ 個別に積算した工事費を、**表面積**で割り戻して**m²単価**としている



橋脚の場合は**全ての表面積**で割り戻すため、m²単価が小さくなる
橋台の場合は**豎壁前面のみの面積**で割り戻すため、m²単価が大きくなる

ASRリチウム工法に関する論文

『亜硝酸リチウム内部圧入工によるASR補修の実構造物への適用性に関する検討』 阪神高速道路

鈴木、橋爪、藤原、江良、三原 ; 2019 ; 補修・補強、アップグレード論文報告集

『亜硝酸リチウムの圧入時期がASR抑制に与える影響』 岐阜大学

高木、大谷、六郷、小林 ; 2016 ; 補修・補強、アップグレード論文報告集

『リチウム内部圧入によるアルカリシリカ反応の抑制について』 京都大学

江良 ; 201 ; コンクリート工学テクニカルレポート

『シラン系表面含浸材および亜硝酸リチウムのASR膨張抑制効果に関する基礎的研究』 阪神高速道路

松本、新名、江良、村橋、宮川 ; 2010 ; 土木学会論文集

『リチウムイオンによるASR膨張抑制効果に関する一考察』 京都大学

江良、三原、山本、宮川 ; 2009 ; 日本材料学会「材料」

コンクリート診断士試験に出題された亜硝酸リチウム

【問題 41】

鉄筋コンクリート部材に生じる劣化現象およびそれを抑制するための対策の目的と適用する工法の次の組合せのうち、不適当なものはどれか。

	劣化現象および対策の目的		適用する工法
(1)	中性化	二酸化炭素の浸入抑制	アクリル樹脂を用いる表面被覆工法
(2)	塩害	鋼材の腐食反応の抑制	外部電源方式を用いる電気防食工法
(3)	凍害	水分の浸入抑制	樹脂リシン吹付け材を用いる表面被覆工法
(4)	アルカリシリカ反応	反応の抑制	亜硝酸リチウムを用いる含浸工法

【2008年出題】

【問題 39】

鉄筋コンクリート部材の劣化機構と、適用する材料および補修工法に関する次の(1)～(4)の組合せのうち、最も不適当なものはどれか。

	劣化機構	適用する材料および補修工法
(1)	中性化	樹脂リシン吹付け材を用いた表面被覆工法
(2)	塩害	シラン系浸透性吸水防止材を用いた含浸工法
(3)	アルカリシリカ反応	亜硝酸リチウム溶液を用いた含浸工法
(4)	硫酸腐食	ポリウレタ樹脂を用いた表面被覆工法

【2011年出題】

コンクリート診断士試験に出題された亜硝酸リチウム

【問題 36】

含浸材中の主成分とその含浸材を用いた塗布工法に期待される効果に関する次の (1) ~ (4) の組合せのうち、不適当なものはどれか。

【2013年出題】

	含浸材中の主成分	期待される効果
(1)	亜硝酸リチウム	鉄筋表面の不動態化
(2)	けい酸ナトリウム	コンクリート表層の緻密化
(3)	アルキルアルコキシシラン	二酸化炭素の侵入防止
(4)	けい酸リチウム	中性化したコンクリートのアルカリ性の回復

【問題 35】

コンクリート用含浸材の主成分とその効果に関する次の (1) ~ (4) の組合せのうち、不適当なものはどれか。

【2015年出題】

	含浸材の主成分	効果
(1)	シラン	水分浸透の抑制
(2)	亜硝酸カルシウム	アルカリシリカ反応の抑制
(3)	けい酸カリウム	中性化の抑制
(4)	シラン・シロキサン	塩分浸透の抑制

コンクリート診断士試験に出題された亜硝酸リチウム

【問題 34】

【88 89問】

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

積雪寒冷地にある農業水利施設の頭首工の堰柱において、写真の赤枠に示すような変状が発生していた。このような変状を抑制するため、建設時のコンクリートの配(調)合上の対策に加えて、コンクリート表面に塗布する材料の主成分として、次の(1)～(4)のうち、適当なものはどれか。最も適当なものを2つ選べ。



【2019年出題】

- (1) エチレン酢酸ビニル系エマルジョン
- (2) アルキルアルコキシシラン
- (3) 低級アルコールアルキレンオキサイド
- (4) 亜硝酸リチウム

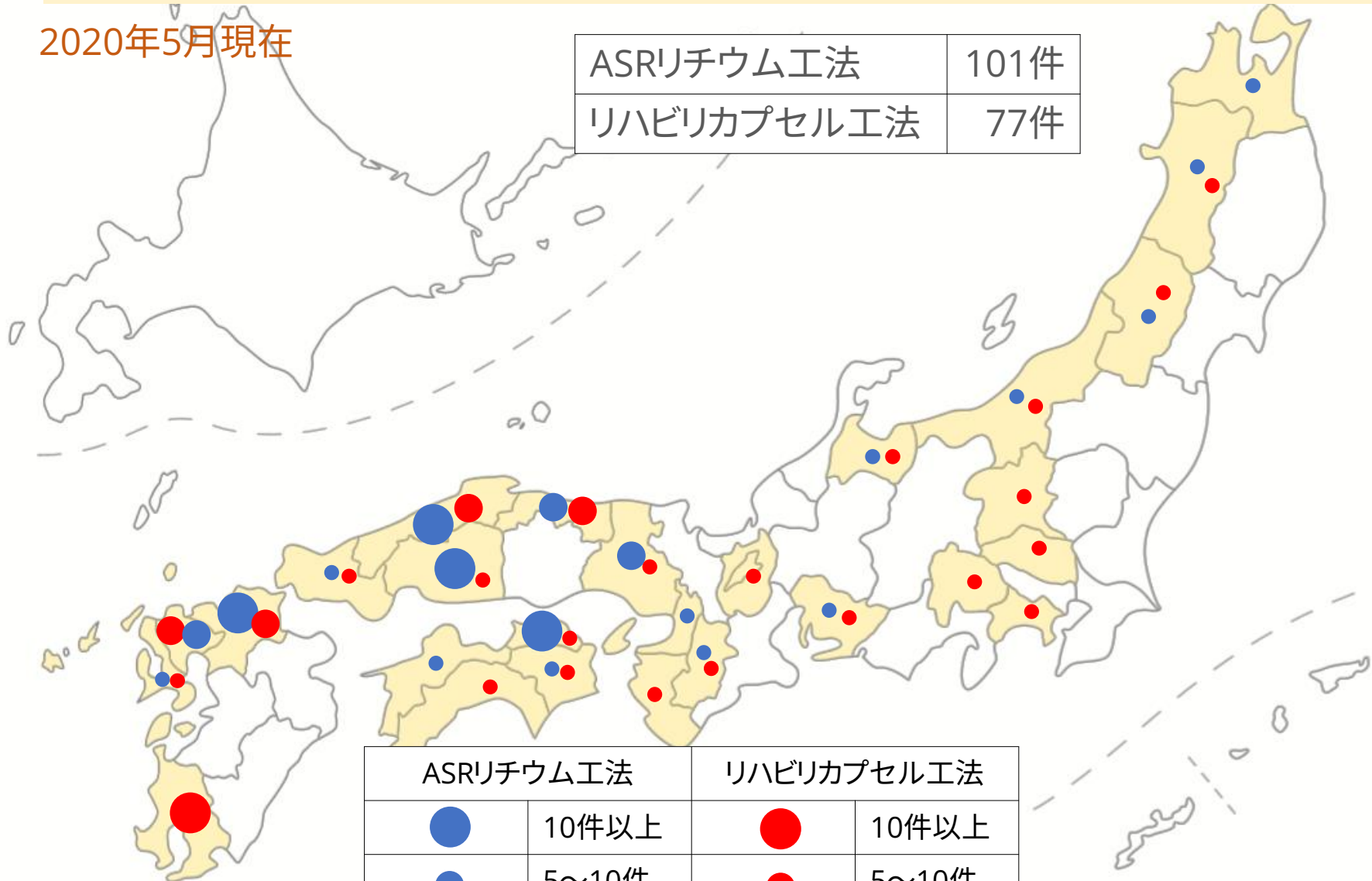
3. 亜硝酸リチウム活用事例と 効果検証・追跡調査

- 塩害補修として
- 中性化補修として
- ASR補修として

施工実績 ASRリチウム工法・リハビリカプセル工法

2020年5月現在

ASRリチウム工法	101件
リハビリカプセル工法	77件

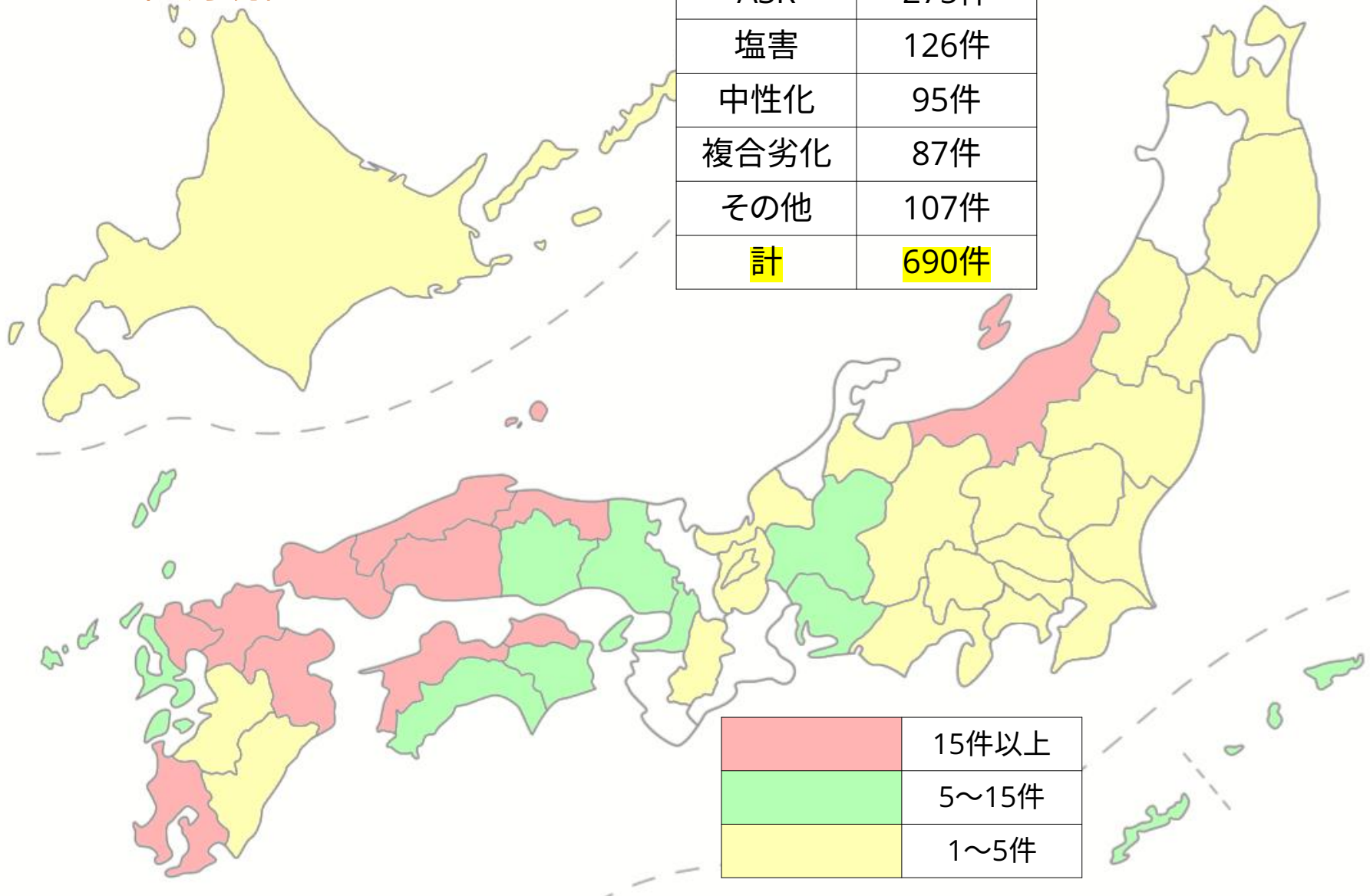


ASRリチウム工法		リハビリカプセル工法	
	10件以上		10件以上
	5～10件		5～10件
	1～5件		1～5件

施工実績 リハビリシンダー工法

2020年5月現在

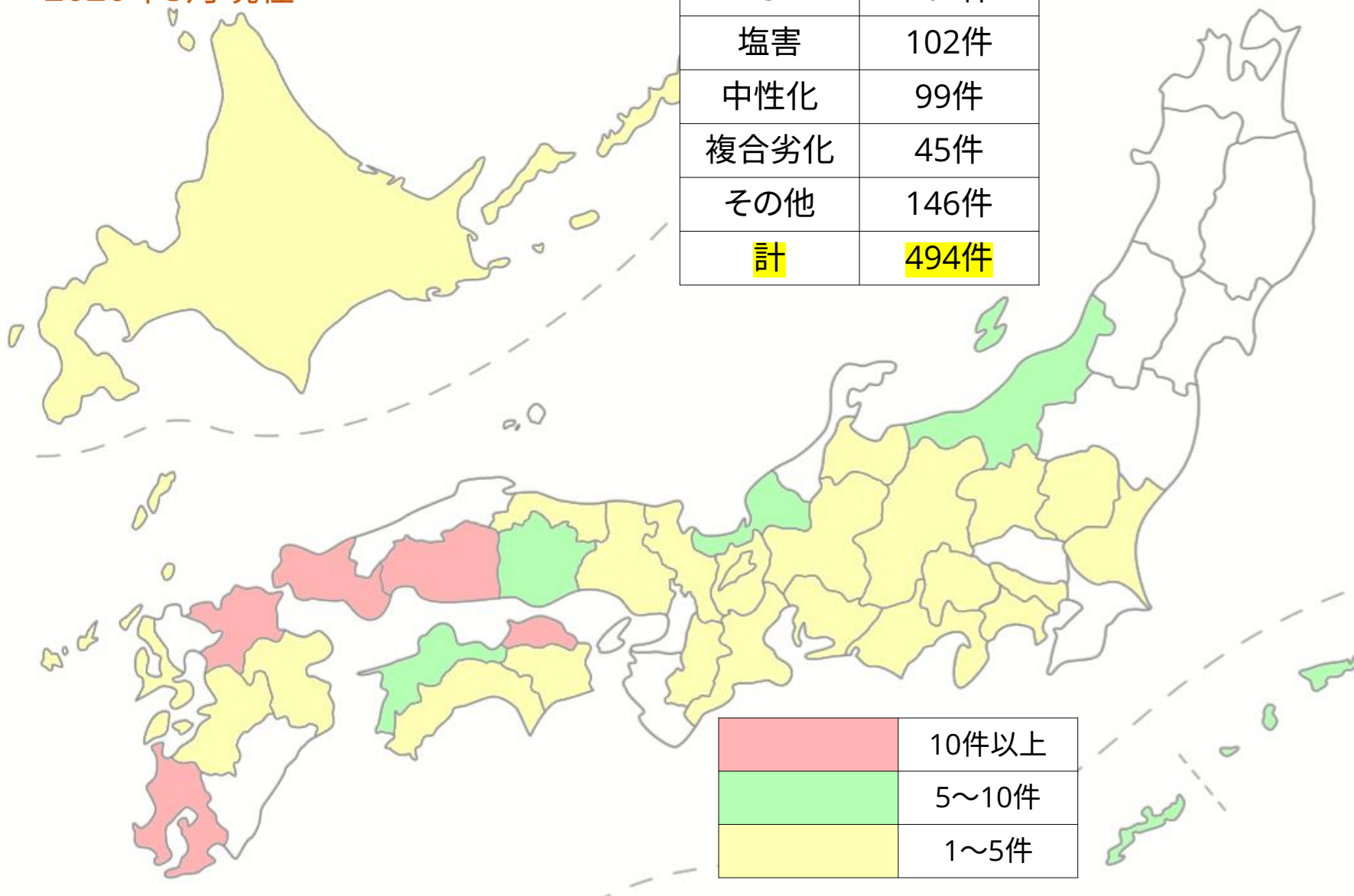
ASR	275件
塩害	126件
中性化	95件
複合劣化	87件
その他	107件
計	690件



施工実績 リハビリ断面修復工法

2020年5月現在

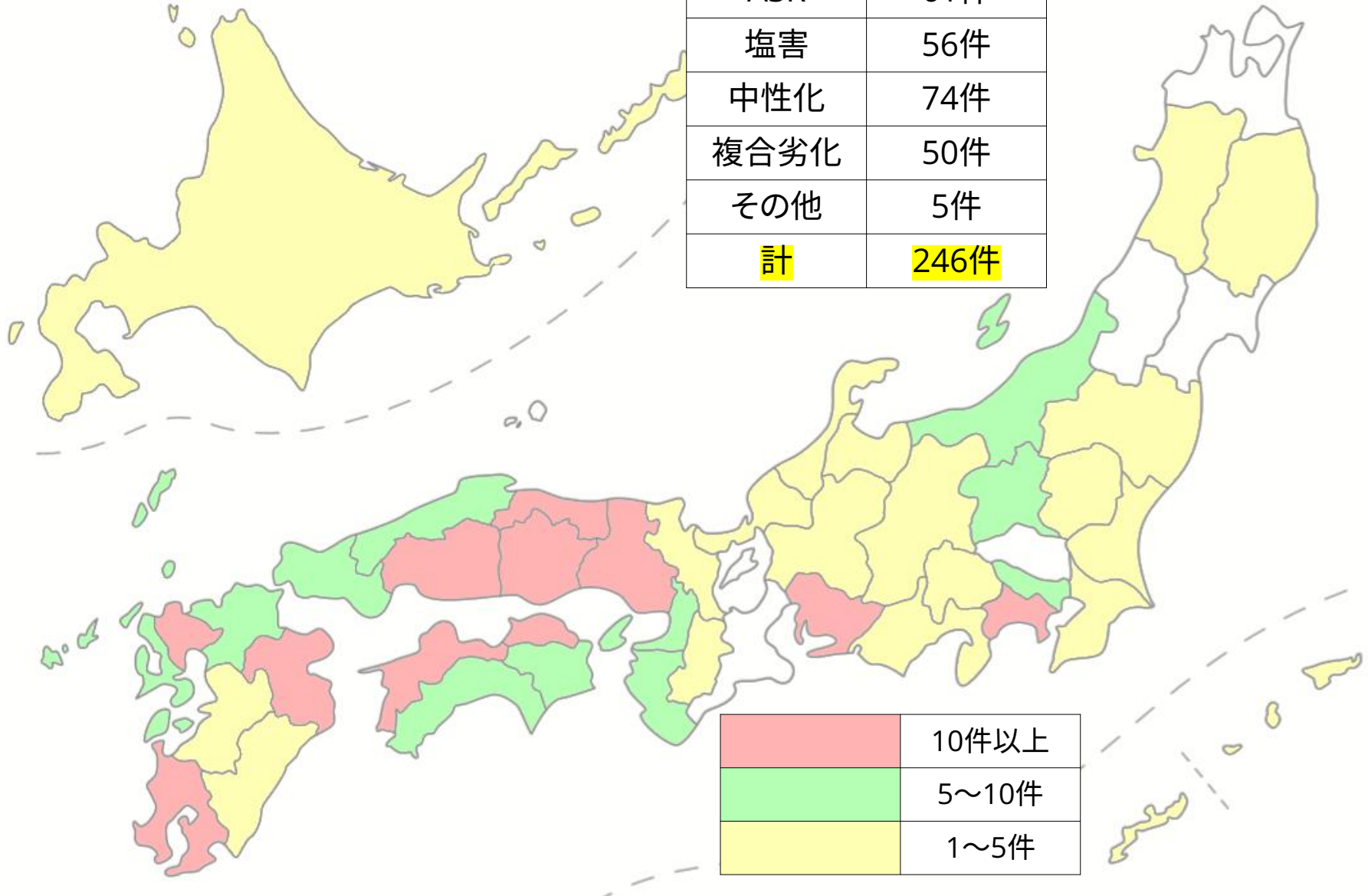
ASR	102件
塩害	102件
中性化	99件
複合劣化	45件
その他	146件
計	494件



施工実績 プロコンガードシステム／S

2020年5月現在

ASR	61件
塩害	56件
中性化	74件
複合劣化	50件
その他	5件
計	246件





構造物:RC上部工(床版橋)

発注者:佐賀県

劣化:塩害(進展期)

補修: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」

採用理由:

- ・鉄筋位置の塩化物イオン濃度が高い
⇒ 不動態皮膜の破壊、鉄筋腐食開始
- ・予防保全段階ではあるが、劣化因子の遮断だけでは不十分
⇒ 鉄筋腐食抑制効果をもつ表面含浸工法



鉄筋腐食は開始しているものの、このままひび割れを発生させないことを目的とした予防保全として、『プロコンガードシステムS』が採用となった





構造物：RC桁
発注者：徳島県
劣化：塩害（加速期後期、再劣化）
補修：亜硝酸リチウム内部圧入工
「リハビリカプセル工法」

採用理由：

- ・過去の表面被覆工による塩害補修が再劣化
⇒ 従来工法では塩害劣化を阻止できない
- ・過去に鋼板接着による曲げ補強も実施されている
⇒ 電気防食工法の適用が困難

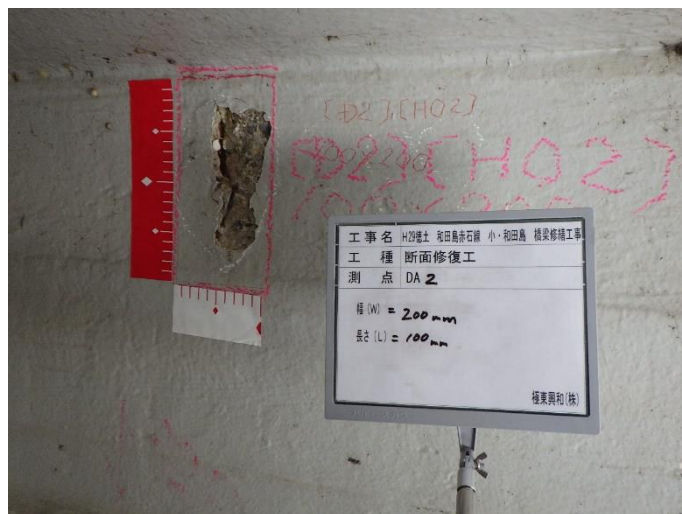


これ以上の再劣化は許容しない維持管理シナリオを選択し、以後の鉄筋腐食を根本的に抑制する補修工法として『リハビリカプセル工法』を選択した

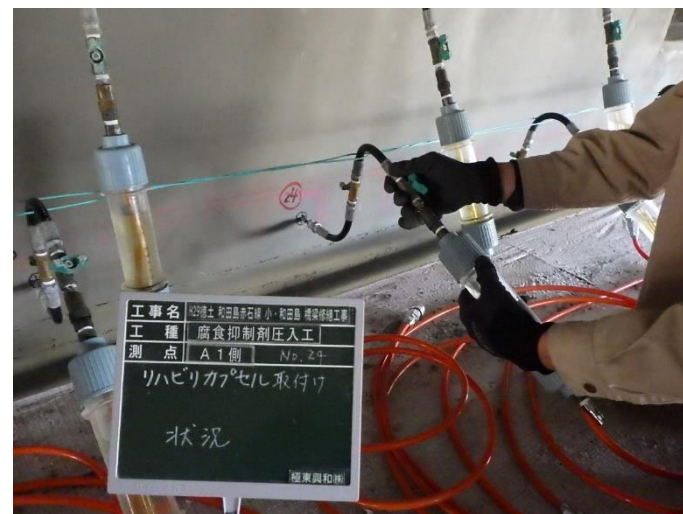


塩害補修の事例

～再劣化を許容しない維持管理シナリオを選定～



過去の塩害補修が再劣化



鋼板接着を残してリハビリカプセル工法

塩害補修の事例

～構造物全体の鉄筋腐食抑制を図る～



構造物：RC橋脚

発注者：国土交通省四国地方整備局

劣化：塩害（加速期後期、内在塩分）

補修：亜硝酸リチウム内部圧入工
「リハビリカプセル工法」

採用理由：

- ・広範囲にコンクリートの浮き、剥離
⇒ そこは必然的に部分断面修復
- ・問題は、断面修復部以外の範囲をどうするか？
- ・同じ腐食環境にあれば、将来的には鉄筋腐食が進行することは明らか
⇒ 断面修復部以外にも亜硝酸リチウムを供給して、構造物全体の鉄筋腐食進行を根本的に抑制する



浮き、剥離箇所：『リハビリ断面修復工法』
それ以外の全体：『リハビリカプセル工法』



塩害補修の事例

～構造物全体の鉄筋腐食抑制を図る～



浮き、剥離部にリハビリ断面修復工法



それ以外の範囲にリハビリカプセル工法



構造物: 建築(鬼北町庁舎)

場所: 愛媛県鬼北町

劣化: 中性化(進展期)

補修: 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」

理由採用:

- 既に中性化が鉄筋位置まで進行
⇒ 劣化因子遮断のみでは不十分
⇒ 鉄筋腐食抑制も付与すべき
- 歴史的価値のある登録有形文化財であり、
補修後も外観を変えられない
⇒ 表面含浸工法



長寿命化のための予防保全として
【劣化因子の遮断+鉄筋腐食抑制】
を期待できる表面含浸工法を提案





施工前

施工後

中性化補修の事例

～老朽化マンションのリファイニング～



構造物：マンション（築50年）
場所：東京都大田区
劣化：中性化（加速期後期）
補修：亜硝酸リチウム内部圧入工
「リハビリカプセル工法」

採用理由：

- ・老朽化したマンションで耐震性能も不足
- ・現在は6階建てだが、建て替える場合は建ぺい率の関係で3階建てとなる。
⇒ 耐震補強により戸数を維持したい
- ・外壁だけでなく、梁部材も中性化が進行
- ・再劣化させない根本的な鉄筋腐食抑制が必要
⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入



単なる耐震補強と外観内装リニューアルにとどまらず、【将来的な鉄筋腐食抑制を保障する】という付加価値を提案



中性化補修の事例

～老朽化マンションのリファイニング～



Hマンション リファイニング工事
現場見学会 (2017年10月16日)

参加者	
午前の部	125名
午後の部	157名
合計	282名



ASR補修の事例

～内部圧入が適用できないPC上部工～



構造物：PC上部工（プレテンホロー桁）
発注者：佐賀県
劣化：ASR（進展期）
補修：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」

採用理由：

- ASRの進展により橋軸方向のひび割れが発生
⇒ 水分の侵入抑制 or ゲルの非膨張化
- PC部材であり、亜硝酸リチウム内部圧入工法が適用できず、やむをえず従来工法で補修
⇒ ひび割れ注入工法 + 表面含浸工法



内部圧入工法が適用できない以上、**再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ**を採らざるを得ない。
ひび割れ部：『リハビリシリンダー工法』
表面全体：『プロコンガードシステムS』





構造物：橋台、橋脚など多数
劣化：ASR（進展期～加速期、膨張性が有害）
補修：亜硝酸リチウム内部圧入工
「ASRリチウム工法」

採用理由の例：

- 過去の表面被覆工によるASR補修が再劣化
⇒ 従来工法ではASR進行を阻止できない
- 外部からの水分侵入を完全に抑制できない
⇒ 一般工法によるASR補修の限界
- 交差条件等により構造物に近接するのも困難
⇒ 何度も補修工事を実施したくない



さまざまな理由により、再劣化を許容しない
維持管理シナリオが有利となる場面がある
⇒ ASRリチウム工法の活用



ASR補修の事例 ～ASR膨張性が有害、水分遮断が困難など～



水分侵入抑制が困難



再劣化



水分侵入抑制が困難



交差条件によりアプローチ困難

ASRリチウム工法施工後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積(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

ASRリチウム工法施工後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積(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

ASRリチウム工法施工後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積(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	巖城橋 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

●ASRリチウム工法の施工後には、ASR膨張性が無害域に低減されていることを確認し続けている

リハビリカプセル工法施工後の追跡調査



- 一宮橋(RC床版)
- 鳥取県
- 2013年施工(塩害補修)
- 施工後7年で再劣化なし



リハビリカプセル工法施工後の追跡調査



施工前(2014年)



施工状況(2015年)

- 新天橋(橋脚)
- 福岡県
- 2015年施工(塩害補修)
- 施工後4年で再劣化なし



施工後4年(2019年)

ASRリチウム工法施工後の追跡調査



施工前(2005年)



施工後4年(2009年)

- ・陶橋(橋台)
- ・国土交通省四国地方整備局
- ・2005年施工(ASR補修)
- ・施工後14年で再劣化なし



施工後14年(2019年)

ASRリチウム工法施工後の追跡調査

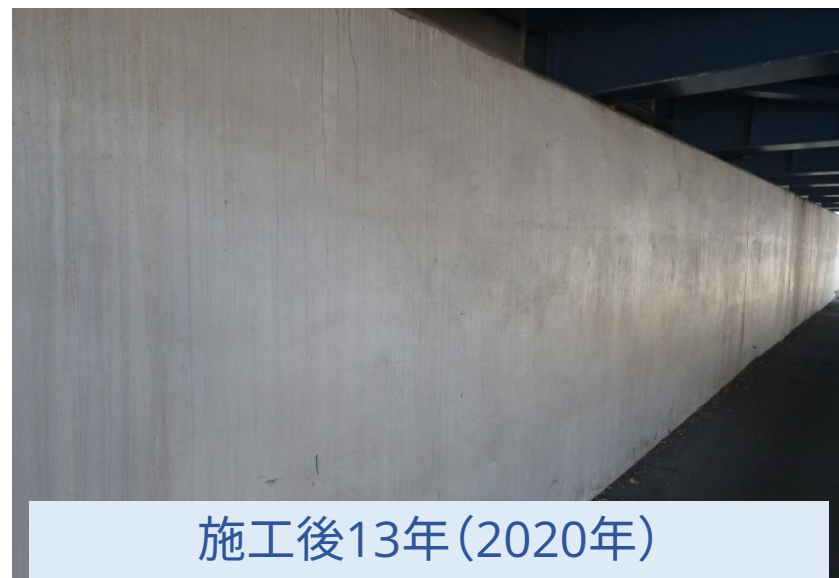


施工前(2007年)



施工後9年(2016年)

- 御手洗橋(橋台)
- 国土交通省中国地方整備局
- 2007年施工(ASR補修)
- 施工後13年で再劣化なし



施工後13年(2020年)

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健康寿命を延ばす』

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