

鉄筋防錆の観点からみた 亜硝酸リチウムによる補修技術



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

主要内容

1. はじめに

- これで十分でしょうか？

2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

- 亜硝酸リチウムとは
- ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』
- 表面含浸工法 『プロコンガードシステム/S』
- 断面修復工法 『リハビリ断面修復工』
- 内部圧入工法 『リハビリカプセル工法』
- 内部圧入工法 『ASRリチウム工法』

3. 構造物の健康寿命を延ばすための亜硝酸リチウム活用事例

- 塩害対策として
- ASR対策として

4. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法の選定の考え方

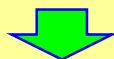
- 補修工法選定フローの例

1. はじめに

【塩害の補修設計でよく見るケース】・・・これで十分でしょうか？

[ケース1：予防保全]

- ・沿岸部に位置する橋梁で、**飛来塩分**の影響を受ける。
- ・まだ**ひび割れ等の変状は見られない**が、将来的に鉄筋腐食の懸念がある。



- ・予防保全的対策として表面全体に**表面含浸工**を施す。
- ・含浸材の種類は**塩化物イオン侵入阻止性**を考慮して選定する。



【塩害の補修設計でよく見るケース】・・・これで十分でしょうか？

【ケース1：予防保全】

- ・沿岸部に位置する橋梁で、**飛来塩分**の影響を受ける。
- ・まだ**ひび割れ等の変状は見られない**が、将来的に鉄筋腐食の懸念がある。
- ・予防保全として**表面含浸工**を施す。
- ・含浸材の種類は**塩化物イオン侵入阻止性**を考慮して選定する。

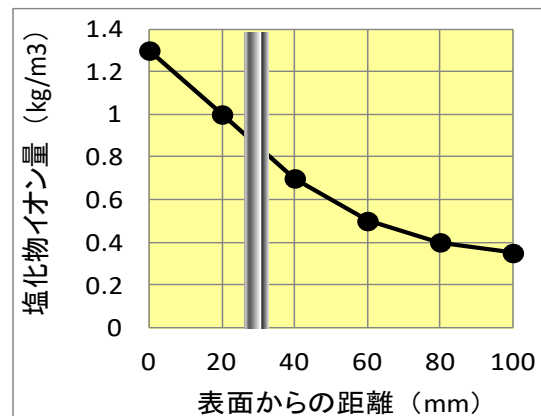


悪くはありませんが、

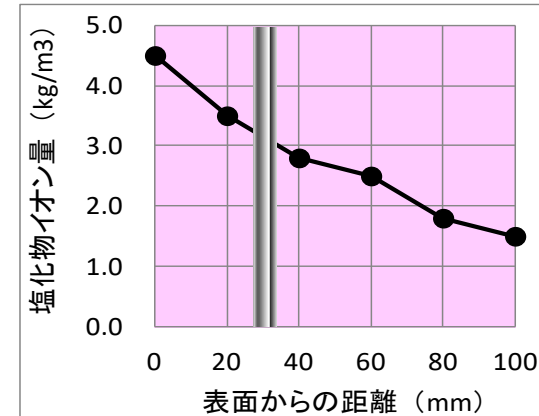
- ・塩害の予防保全は基本的に『**潜伏期**』または『**進展期**』で実施される。
- ・『**潜伏期**』と『**進展期**』では**補修の要求性能**が異なること考慮すべき。



潜伏期、進展期の外観



潜伏期の例

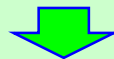


進展期の例

【塩害の補修設計でよく見るケース】・・・これで十分でしょうか？

[ケース2：事後保全]

- ・沿岸部に位置する橋梁で、塩化物イオン量は**腐食発生限界**を超えている。
- ・部分的に**コンクリートの浮き、剥離等**の変状が見られる。



- ・浮き、剥離部に**部分断面修復工**、コンクリート全体に**表面含浸工**を選定。
- ・断面修復工には**マクロセル腐食抑制**も考慮して工法を選定。



【塩害の補修設計でよく見るケース】・・・これで十分でしょうか？

[ケース2：事後保全]

- ・沿岸部に位置する橋梁で、塩化物イオン量は**腐食発生限界**を超えている。
- ・部分的に**コンクリートの浮き、剥離等**の変状が見られる。
- ・浮き、剥離部に**部分断面修復工**、コンクリート全体に**表面含浸工**を選定。
- ・断面修復工には**マクロセル腐食抑制**も考慮して工法を選定。



悪くはありませんが、

- ・**断面修復した範囲**は防錆処理も施され、鉄筋腐食の進行は抑制される。
- ・**境界部**のマクロセル腐食のリスクも低減されている。
- ・しかし、**断面修復した範囲以外**は表面含浸工を施ただけで、内部の鉄筋周囲には高い塩化物イオンが存在する**腐食環境**のまま。



加速期前期/後期の外観



剥離部を部分断面修復



表面全体に表面含浸工

2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

- 亜硝酸リチウムとは
- ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』
- 表面含浸工法 『プロコンガードシステム/S』
- 断面修復工法 『リハビリ断面修復工』
- 内部圧入工法 『リハビリカプセル工法』
- 内部圧入工法 『ASRリチウム工法』

2. 1 亜硝酸リチウムとは

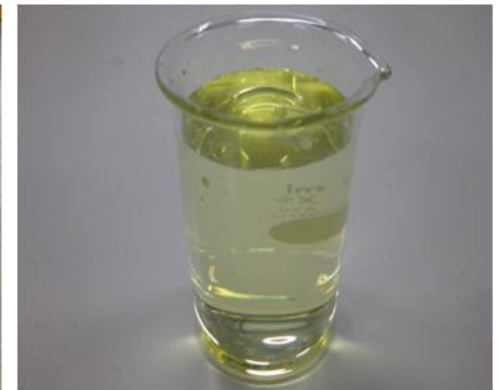


亜硝酸リチウム製品の一例『プロコン40』

【亜硝酸リチウムとは】

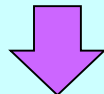
- ・亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有するコンクリート補修材料
- ・原材料は「天然ガス」、「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40%（限界濃度）

Lithium Nitrite ; LiNO_2



亜硝酸イオン
 NO_2^-

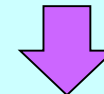
不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する



『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

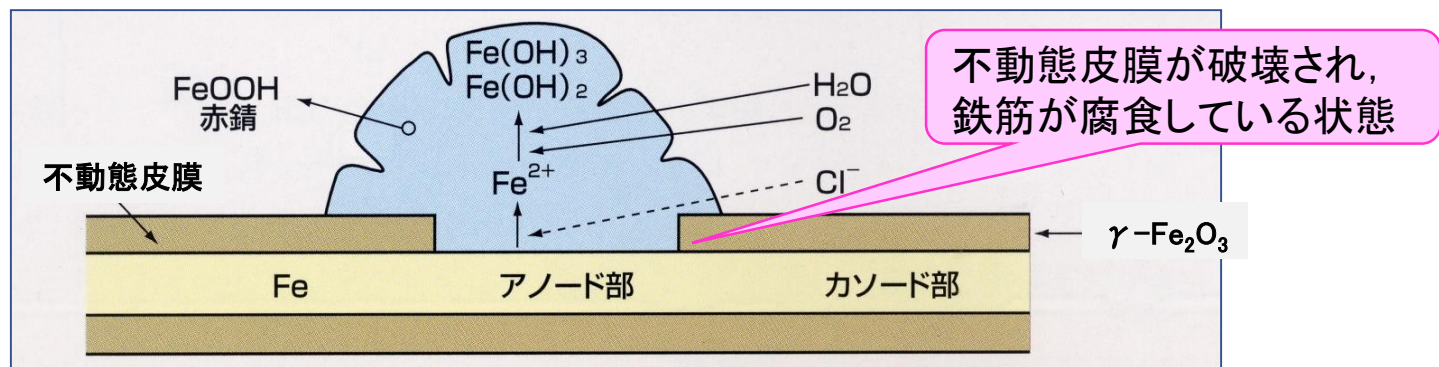
アルカリシリカゲルを
非膨張化する



『ASR対策』

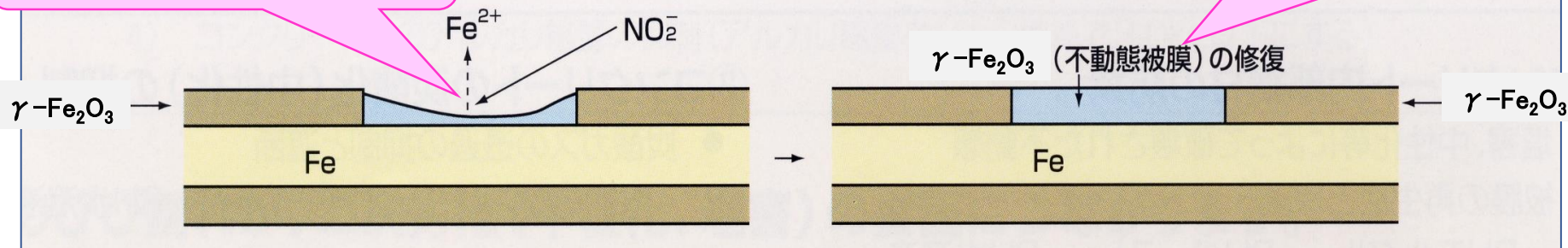
【亜硝酸リチウムとは】 … 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制

- ・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



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^-)による不動態被膜再生メカニズム

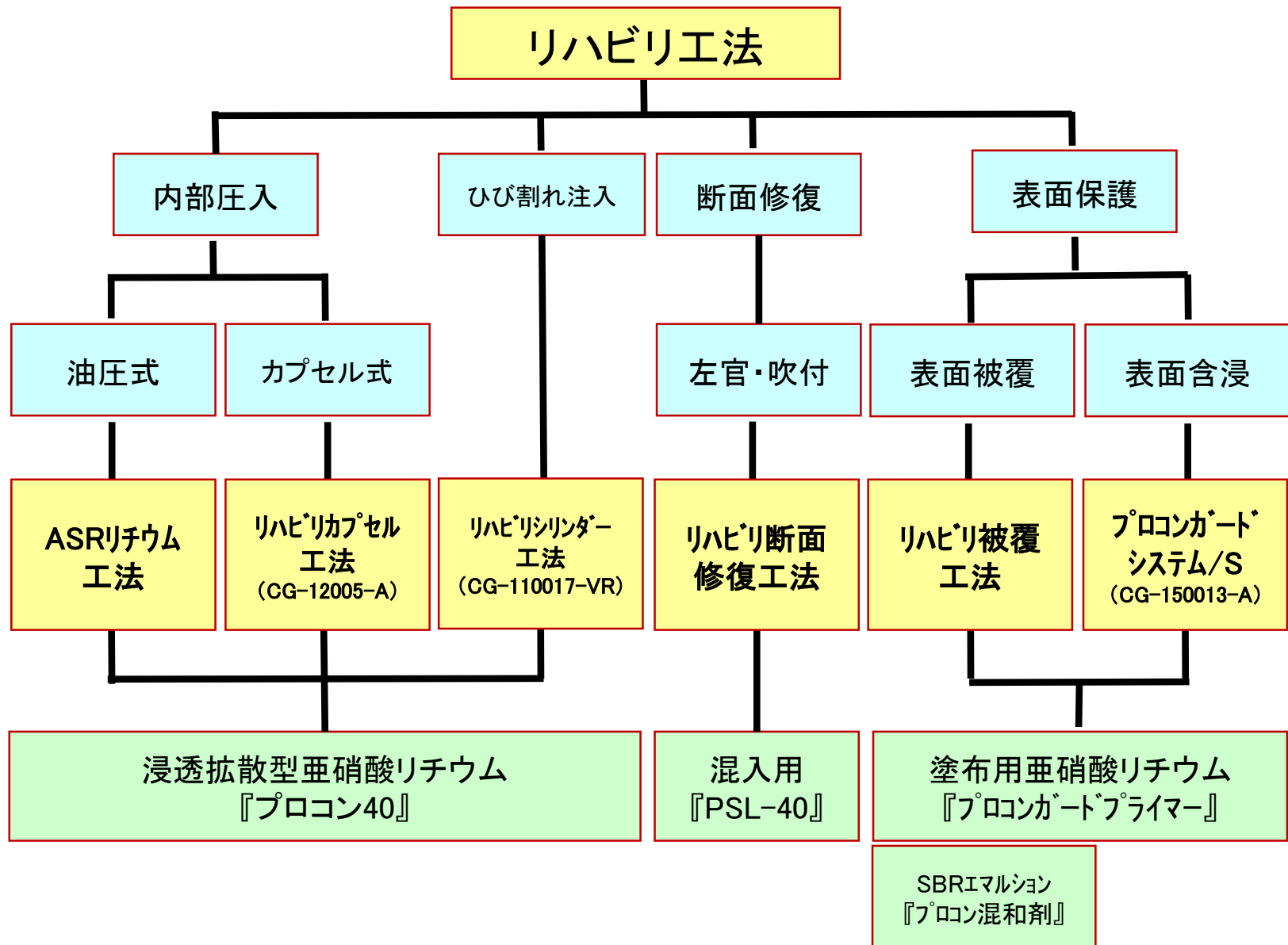
【亜硝酸リチウムとは】 … リチウムイオンによるゲル非膨張化

- ・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

	第2ステージ 『アルカリシリカゲルの膨張』	リチウムによるゲルの非膨張化
概念図		
反応式	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張！)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{NaとLiとのイオン交換}} \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

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

【亜硝酸リチウムを用いた補修工法一覧】



2. 2 ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』



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「リハビリシリンダー工法」は、注射器型のひび割れ注入器「リハビリシリンダー」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。「リハビリシリンダー」に内蔵された特殊スプリングにより、シ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度状態が長期保持し、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

リハビリシリンダー設置状況

座金設置状況

プロコン40先行注入状況

超微粒子セメント系注入材注入状況

施工仕様

注 入 装 置: 自動低圧注入器「リハビリシリンダー」

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ブサンダー等により下地処理します。
2. リハビリシ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

【リハビリシリンダー工法】 … 一般工法との違い

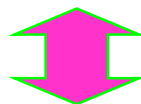
一般的なひび割れ注入工法

材料

- ・エポキシ樹脂系注入材（1種、2種、3種）
- ・セメント系注入材
- ・ポリマーセメント系注入材 など

目的

- ・ひび割れの閉塞
- ・ひび割れを通じた劣化因子の遮断



リハビリシリンダー工法

材料

- ・セメント系注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム

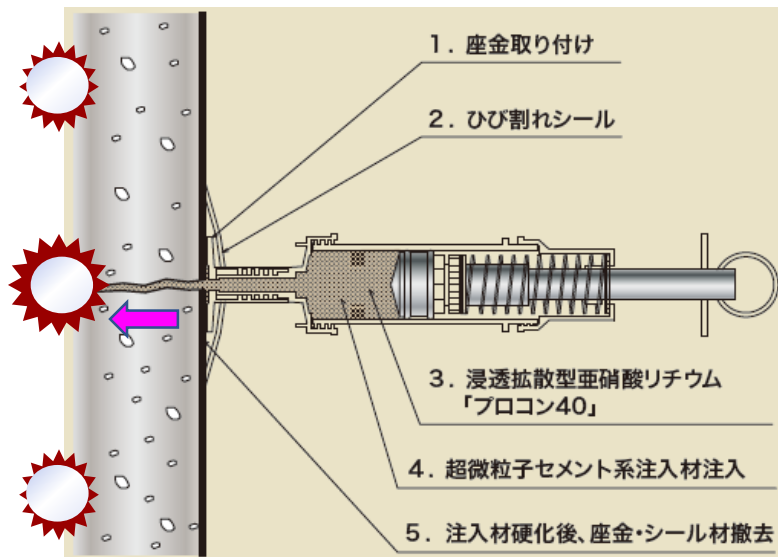
目的

- ・ひび割れの閉塞
- ・ひび割れを通じた劣化因子の遮断
- ・亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制（塩害・中性化）
- ・リチウムイオンによるASR膨張抑制（ASR）

【リハビリシリンダー工法】…工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

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』を付与



- 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

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つひび割れ注入工法

【リハビリシリンダー工法】 … メリットとデメリット

リハビリシリンダー工法のメリット

- ・単なる劣化因子の遮断だけでなく、**亜硝酸リチウムの効果**を付与
塩害・中性化 : 鉄筋腐食抑制
ASR : ASRゲル膨張抑制
- ・無機系であるため、**ひび割れ内部が湿潤**でも施工可能
- ・超微粒子セメント系であるため、**流動性**は有機系注入材と同等

リハビリシリンダー工法のデメリット

- ・無機系であるため、**ひび割れ追従性**はない
- ・無機系であるため、エポキシ樹脂系に比べて**付着強度**が低い

リハビリシリンダー工法の適用範囲

- ・塩害、中性化の場合、ひび割れ発生後の「**加速期前期**」以降
- ・それ以外の劣化を含む変状に対し、幅0.2mm以上のひび割れ補修

リハビリシリンダー工法の積算

- ・**国土交通省標準歩掛**に準拠して積算(1橋あたり)
- ・標準的な規模の場合、**8,000～9,000円/m**程度

2. 3 表面含浸工法 『プロコンガードシステム』 『プロコンガードシステムS』



NETIS:CG-150013-A

REHABILI
プロコンガード
リハビリ工法

亜硝酸リチウムとけい酸リチウムを併用した
塩害・中性化・ASR補修技術
NETIS:CG-150013-A

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

プロコンガードシステムとは

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、けい酸リチウム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、その遮断効果は劣化機構の潜伏状態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反応抑制効果の両方を付加効果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段階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ずにありませので、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（けい酸リチウム系含浸材）がコンクリート表面部を緻密化し、劣化因子（塩化物イオン、二酸化炭素、水分）の侵入を抑制します。

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）に含まれる亜硝酸リチウム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効果を形成し、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、アルカリシリカ反応が抑制され、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、水分）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）

プロコンガードシステムHP仕様について

本工法は条件（※）によって施工工程に相違を生じることがあります。劣化現象を起因に合わせた以下のHP仕様もご参照ください。

1層目：プロコンガードプライマー（亜硝酸リチウム系含浸材）
2層目：プロコンガードS（けい酸リチウム系含浸材）
※例えば、新設修繕材の表層やPC部材など、密着度の高い部位に適用する場合、また亜硝酸リチウム内蔵工法の施工後に適用する場合など。

施工手順

①下地処理
サンダー・レンジ及び高圧水洗洗等でコンクリート表面の脂肪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塗布量（標準塗布量0.3kg/m²）を塗布する。必要に応じて面照調整をする。

③「プロコンガードS」の塗布
刷毛及びローラー等で規定塗布量（標準塗布量0.1kg/m²）を塗布する。

施工の注意

■「プロコンガードプライマー」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。

施工の注意

■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。

REHABILI
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、その遮断効果は劣化機構の潜伏状態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反応抑制効果の両方を付加効果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段階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S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ずにありませので、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）がコンクリート表面部で、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）に含まれる亜硝酸リチウム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効果を形成し、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S（シラン・シロキサン系含浸材）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、アルカリシリカ反応が抑制され、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、水分）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）

施工の注意

■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。

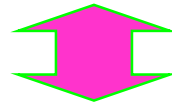
施工の注意

■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。
■「プロコンガードS」は規定塗布量必ず守って下さい。

【プロコンガードシステム/プロコンガードシステムS】 … 一般工法との違い

一般的な表面含浸工法

- | | |
|----|--|
| 種類 | ・シラン系含浸材
・けい酸ナトリウム系含浸材（反応型けい酸塩系）
・けい酸リチウム系含浸材（固化型けい酸塩系） など |
| 目的 | ・コンクリート表面からの劣化因子の侵入抑制 |



プロコンガードシステム/プロコンガードシステムS

- | | |
|----|--|
| 種類 | ・亜硝酸リチウム系含浸材＋けい酸リチウム系含浸材
・亜硝酸リチウム系含浸材＋シラン・シロキサン系含浸材 |
| 目的 | ・コンクリート表面からの劣化因子の侵入抑制
・亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制（塩害・中性化）
・リチウムイオンによるASR膨張抑制（ASR） |

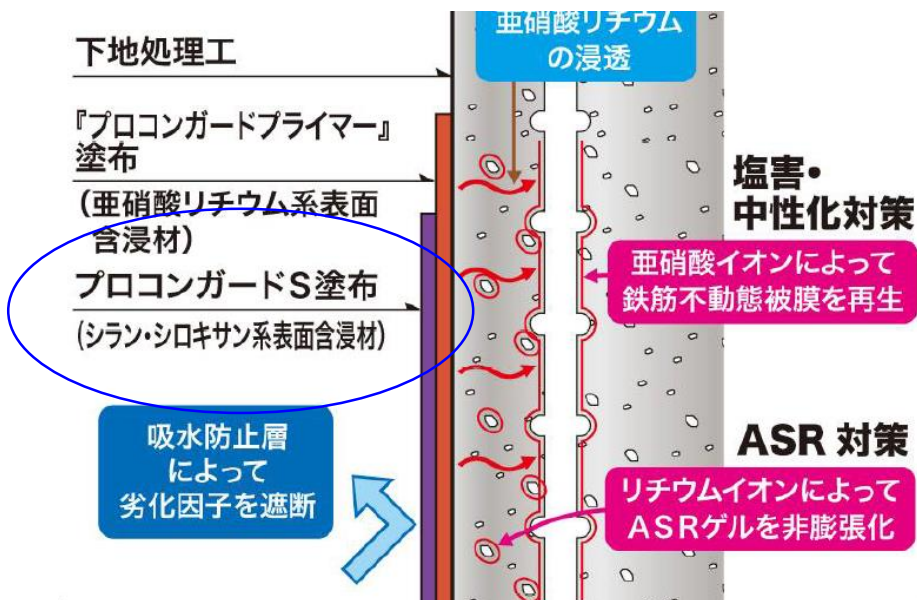
【プロコンガードシステム/プロコンガードシステムS】

名称	プロコンガードシステム	プロコンガードシステムS
材料	1層目 亜硝酸リチウム系含浸材 ⇒「プロコンガードプライマー」 2層目 ケイ酸リチウム系含浸材 ⇒「プロコンガード」	1層目 亜硝酸リチウム系含浸材 ⇒「プロコンガードプライマー」 2層目 シラン系含浸材 ⇒「プロコンガードS」
概念図		
備考	施工後に白化する可能性がある	施工後に白化する可能性がない

【プロコンガードシステムS】 … 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

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』を付与



- 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劣化因子の侵入を抑制するために、シラン・シロキサン系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

鉄筋腐食抑制効果(表層部)を併せ持つ表面含浸工法

【プロコンガードシステムS】 … メリットとデメリット

プロコンガードシステムSのメリット

- ・単なる劣化因子の遮断だけでなく、**亜硝酸リチウムの効果**を付与できる
塩害・中性化 : 鉄筋腐食抑制
ASR : ASRゲル膨張抑制
- ・塩化物イオン量に応じて**亜硝酸リチウム塗布量**を定量的に設定できる
亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比1.0となる量

プロコンガードシステムSのデメリット

- ・**2種類**の材料を塗布しなければならない

プロコンガードシステムSの適用範囲

- ・一般的な表面含浸工法の適用範囲は基本的に「潜伏期」となる
- ・それに対し、劣化因子遮断だけでなく鉄筋腐食抑制も期待できるため、「潜伏期」を超えて「進展期」や「加速期前期」まで適用可能。

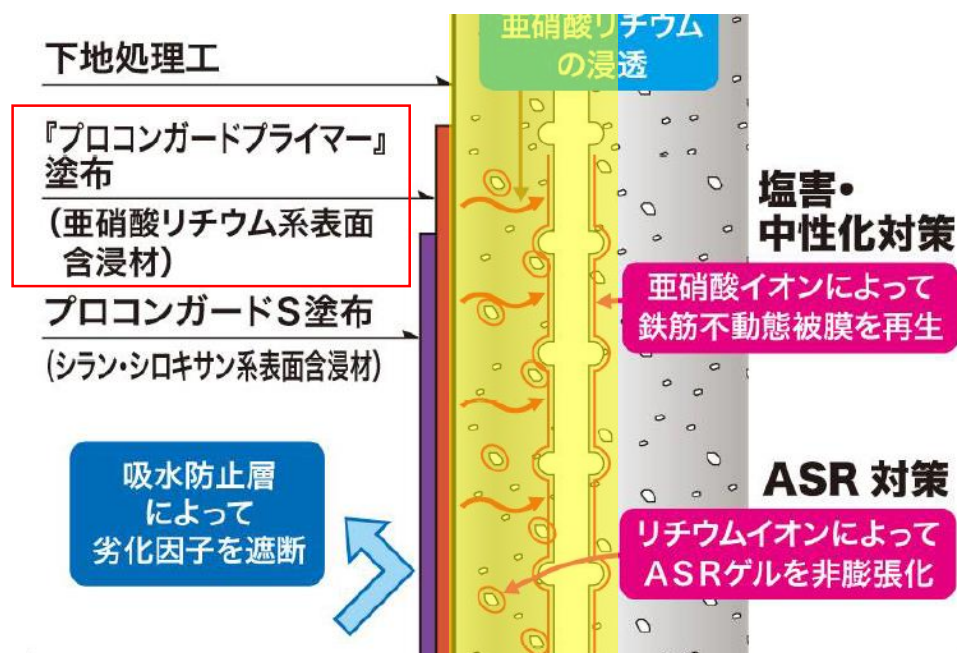
プロコンガードシステムSの積算

- ・コンクリートメンテナンス協会標準歩掛にて積算
- ・標準的な規模の場合、**4,800～5,000円/m²**程度

【プロコンガードシステムS】 … 亜硝酸リチウム設計塗布量

劣化機構 : 塩害
設計に必要な値 : 塩化物イオン濃度
亜硝酸リチウムの目標含浸深さ(鉄筋かぶりを目安)

亜硝酸リチウム必要量の設計 ⇒ 塩化物イオン濃度に応じて設定する
[NO_2^-] / [Cl^-] モル比 = 1.0となる量



【設計上の仮定】

コンクリート表面から目標含浸深さまで亜硝酸イオンを均一濃度で分布させる

【塗布可能量】

標準塗布量 : 0.3kg/m^2

～

限界塗布量 : 1.0kg/m^2 程度を目安

【プロコンガードシステムS】 … 亜硝酸リチウム設計塗布量

『鉄筋かぶり』と『塩化物イオン量』に応じて亜硝酸リチウム系含浸材塗布量を算定

鉄筋かぶり30mmの場合

塩化物イオン 濃度 (kg/m ³)	2.7	3.0	4.0	5.0	6.0
亜硝酸リチウム系 含浸材の塗布量 (kg/m ²)	0.30	0.34	0.45	0.56	0.67

鉄筋かぶり50mmの場合

塩化物イオン 濃度 (kg/m ³)	1.6	2.0	3.0	4.0	5.0
亜硝酸リチウム系 含浸材の塗布量 (kg/m ²)	0.30	0.37	0.56	0.75	0.93

2. 4 断面修復工『リハビリ断面修復工』



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・アルカリ砂量に適応した量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、毎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容易で、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、まず、劣化したコンクリートをハズリ取り露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効果を持続させ、鉄筋の腐食を長期にわたって抑制します。

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

鉄筋防錆剤: 『プロコンガードプライマー』(亜硝酸リチウム系表面含浸材)

『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. コンクリートの脆弱な範囲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。(断面量によって混合量を調整する。)

物 性 例				
試験項目	材 質	亜硝酸リチウム 20kg/m配合	亜硝酸リチウム 55kg/m配合	備 考
圧縮強度 (N/mm ²)	7日	21.4	20.3	40×40×160mm 試験体
	28日	47.2	42.6	
	28日	60.3	57.2	
曲げ強度 (N/mm ²)	7日	4.7	4.7	40×40×160mm 試験体
	28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
	28日	0	0	
促進中性化 深さ (mm)	28日	0	0	30℃、60%RH、 CO ₂ =5%

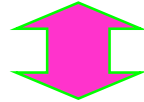
※試験例であり、保証値ではありません。
ポリマーセメントSP『PSL-40』を混入した、物性値です。



【リハビリ断面修復工】 … 一般工法との違い

一般的な断面修復工法

- 材料 ・ポリマーセメントモルタル系
- 目的 ・コンクリート浮き、はく離部の修復
・劣化因子(塩化物イオン)の除去



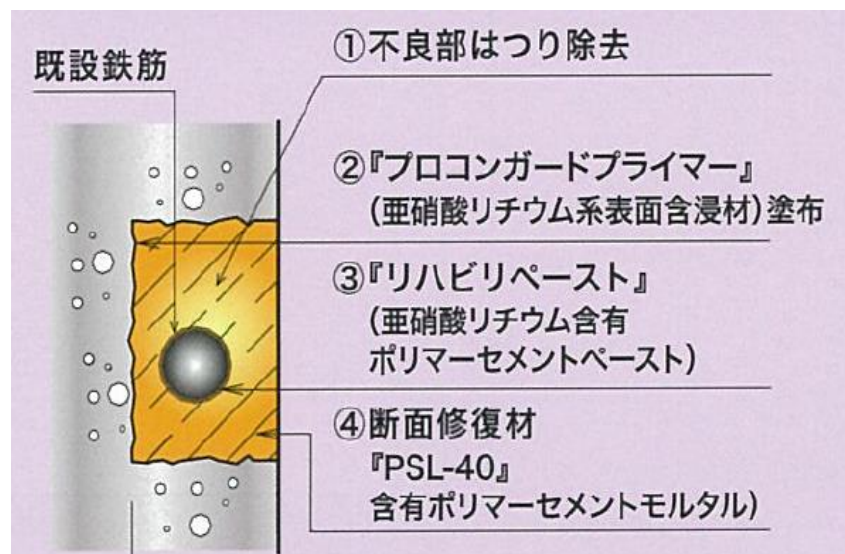
リハビリ断面修復工法

- 材料 ・亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル
- 目的 ・コンクリート浮き、はく離部の修復
・劣化因子(塩化物イオン)の除去
・亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制 (塩害・中性化)
・亜硝酸リチウムによるマクロセル腐食抑制

【リハビリ断面修復工法】 … 塩害、中性化の補修の場合

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』



- ① かぶりコンクリートの不良部をはつりとり、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欠損部を修復する

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ断面修復工法

【リハビリ断面修復工法】 … メリットとデメリット

リハビリ断面修復工法のメリット

- ・浮き、はく離部を単に断面修復するだけでなく、**亜硝酸リチウム**の効果を付与できる
 - 塩害・中性化 : 鉄筋腐食抑制
- ・特に塩害の場合、塩化物イオン濃度に応じて**亜硝酸リチウム混入量**を定量的に設定することができる。

リハビリ断面修復工法のデメリット

- ・亜硝酸リチウム混入量が多くなると、単位当たりの施工費が高価となる

リハビリ断面修復工法の適用範囲

- ・塩害、中性化の場合、浮きや剥離が生じた「加速期前期」以降
- ・他工法との組み合わせによる総合的な補修を図ることが効果的

リハビリ断面修復工法の積算

- ・**国土交通省標準歩掛**に準拠して積算(1橋あたり)
- ・単位あたり施工費は規模によって大きく変動

【リハビリ断面修復工法】… 亜硝酸リチウム設計混入量

例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 (PSL-40) 混入量 (kg/m ³)	11.3	18.8	26.3	37.3	56.0

例② NEXCO設計要領 第二集 橋梁保全編の記述

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。

※ 亜硝酸リチウム固形分で55kg/m³ ⇒ 亜硝酸リチウム40%水溶液で137.5kg/m³

2. 5 内部圧入工法(その1) 『リハビリカプセル工法』



NETIS:CG-120005-A

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-A

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%水溶液を内部注入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを膨脹化するため、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、鉄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%水溶液を内部注入することにより、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。

簡易な注入装置にて合理的に補修対策!

簡易型高圧注入装置「リハビリカプセル」は、大規模施工用の強圧式注入装置「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、床下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折損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

注入装置: カプセル式高圧注入機「リハビリカプセル」
 剤 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当量(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
 注 入 孔: 別孔径はφ10mm
 別孔間隔は500mmを標準とする
 (部材寸法や構造規模に応じて決定)
 別孔深さは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注入孔を制孔します。
4. リハビリカプセル、コンプレッサーを設置します。
5. 全注入孔に対し本高圧注入機を行い、「プロコン40」の設計量を内部注入します。
6. エポキシ樹脂等により全注入孔を充填します。
7. 表面を仕上げて施工完了です。

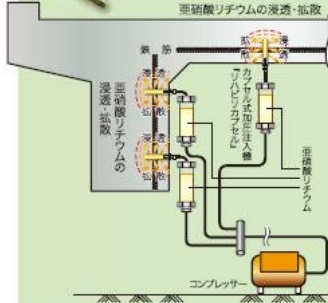
施工事例




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



亜硝酸リチウムの浸透・拡散

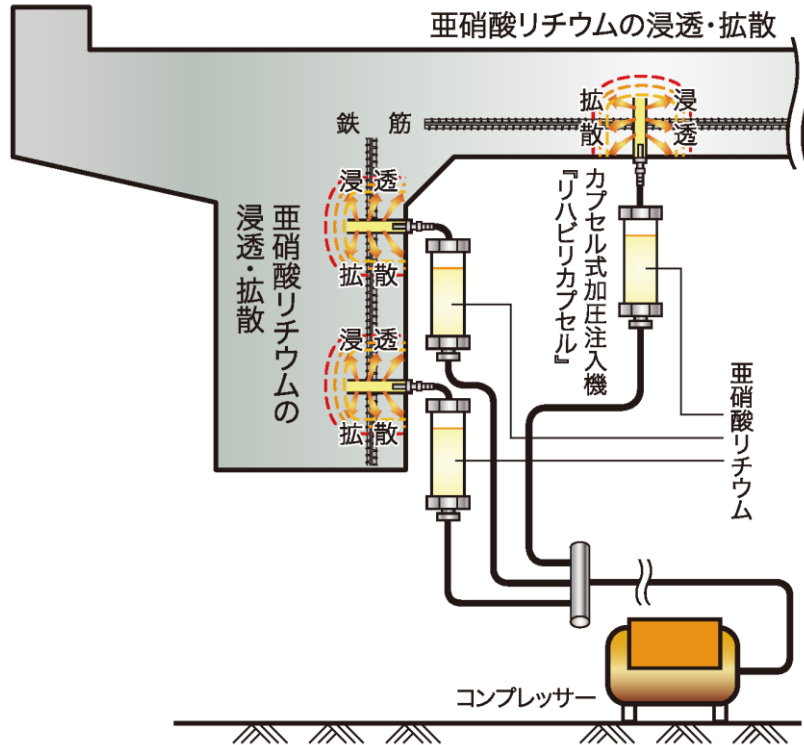
亜硝酸リチウム

コンプレッサー

【リハビリカプセル工法】… 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

(NETIS:CG-120005-VR)



- 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カプセル式加圧装置にて浸透拡散型亜硝酸リチウムを部材表層部に内部圧入する
- ③削孔箇所を充填材にて埋め戻す

不動態皮膜を早急かつ確実に再生する

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果のみを目的とした工法

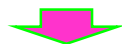
【リハビリカプセル工法】 … 施工状況



【リハビリカプセル工法】 … メリットとデメリット

リハビリカプセル工法のメリット

- ・亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果を最も積極的に活用する工法。
- ・塩害の場合、塩化物イオン濃度に応じて亜硝酸リチウム圧入量を定量的に設定することができる。



- ・腐食発生限界を超える塩化物イオン存在下でも鉄筋を腐食させない。

リハビリカプセル工法のデメリット

- ・亜硝酸リチウム圧入量が多くなると、施工費が高価となる

リハビリカプセル工法の適用範囲

- ・塩害、中性化の場合、変状が生じている「加速期前期」以降での適用が多い
- ・プレストレストコンクリート部材への適用は現時点で実績なし
(適用に向けて研究開発に着手)
- ・塩化物イオン濃度が過度に含まれている場合は詳細検討が必要
(上限の塩化物イオン濃度の目安: 10kg/m³程度)

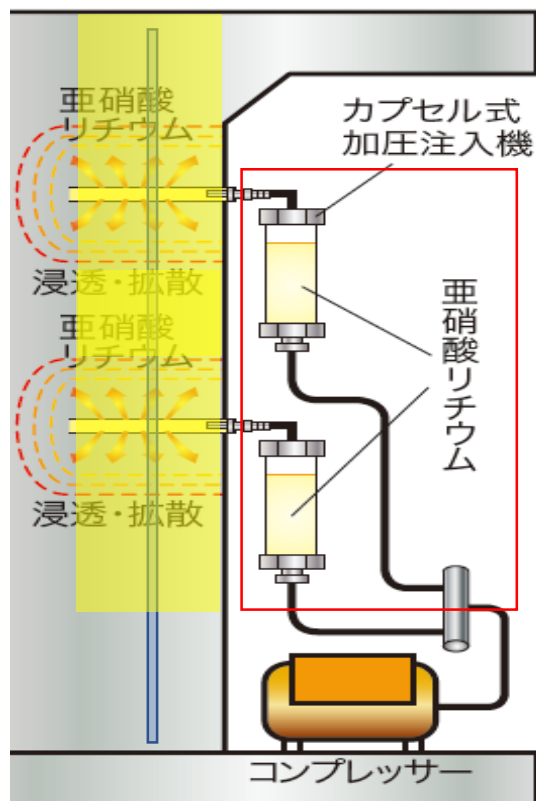
リハビリカプセル工法の積算

- ・コンクリートメンテナンス協会標準歩掛にて積算
- ・単位あたり施工費は規模、塩化物イオン量、コンクリート強度等によって大きく変動

【リハビリカプセル工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量

劣化機構 : 塩害
設計に必要な値 : 塩化物イオン濃度(亜硝酸リチウム圧入量の設定)
鉄筋かぶり深さ(亜硝酸リチウムの目標圧入深さの設定)
コンクリート圧縮強度(設計圧入日数の算定)

亜硝酸リチウム必要量の設計 ⇒ 塩化物イオン濃度に応じて設定する
[NO_2^-] / [Cl^-] モル比 = 1.0となる量



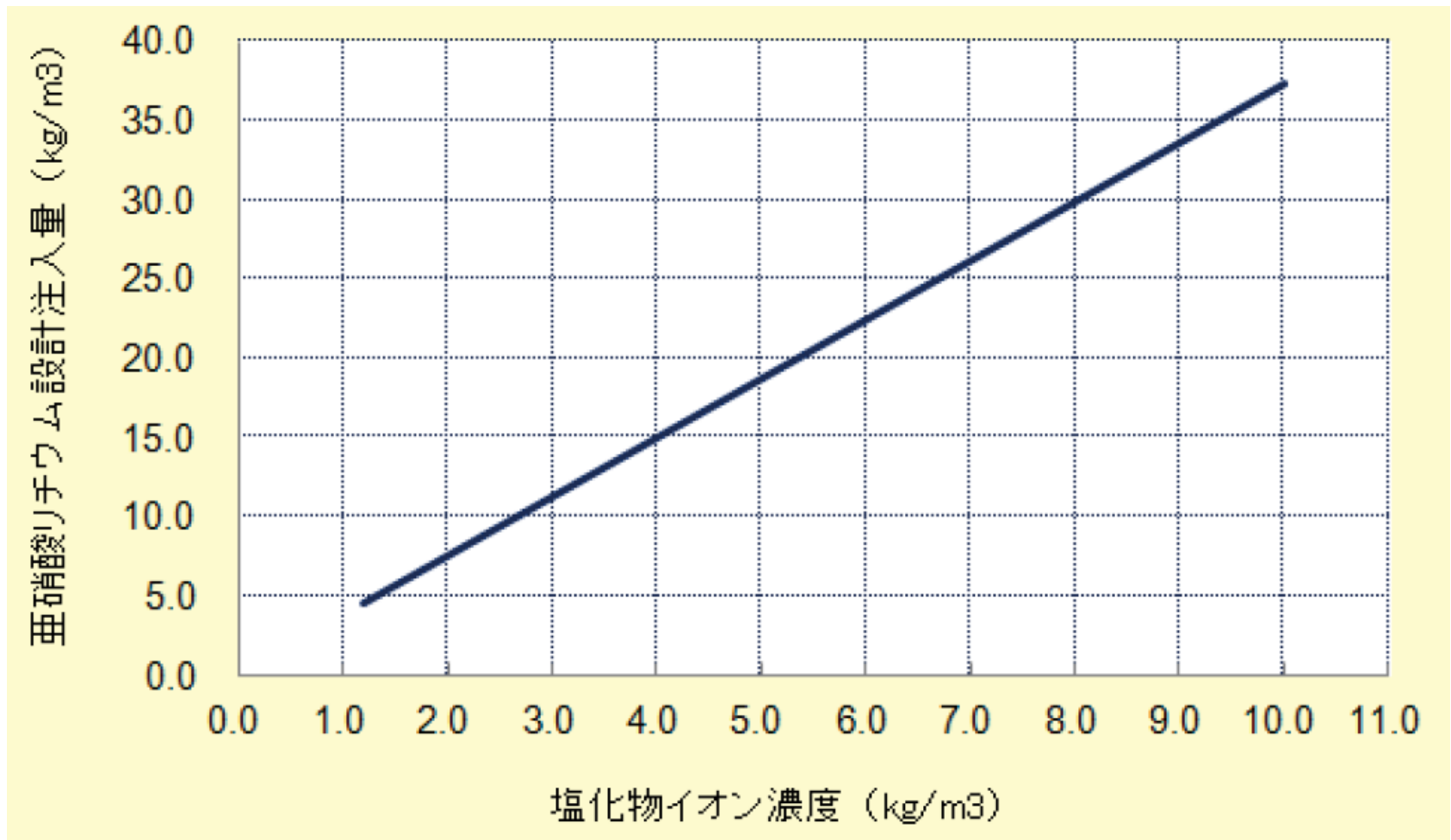
【設計上の仮定】

コンクリート表面から目標圧入深さまで亜硝酸イオンを均一濃度で分布させる

【圧入可能量】

限界圧入量 : 37kg/m^3 程度
(塩化物イオン 10kg/m^3 相当)

【リハビリカプセル工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量



塩化物イオン濃度と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

2. 6 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ゲルを劣悪化するため、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！
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』
即 効 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 0.5MPa～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毎に決定
圧 入 孔 削孔径はφ10mmまたはφ20mm(削孔深さに応じて決定)
削孔間隔は500mm～1,000mm(部材寸法や構造形態に応じて決定)
削孔深さは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削孔します。
4. リハビリ圧入機、耐圧ホース、加圧バックカーを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験圧注入を行い、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

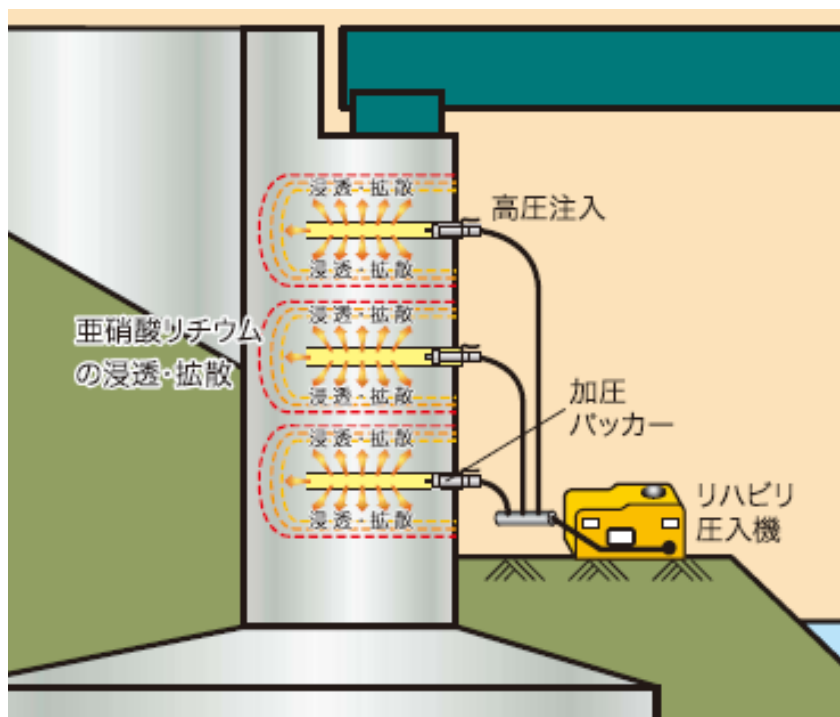
ASRリチウム工法によるASR補修を行う場合、本法による補修効果は施工前後の残存膨張量を比較することによって定量的に評価することができます。

ASRリチウム工法施工前後の残存膨張量試験結果(JCI-DD2法)の例

工法概念図

【ASRリチウム工法】 … 工法概要(ASRの補修の場合)

基本性能 『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』



圧入量 : Li/Naモル比0.8となる LiNO_2
削孔径 : $\phi 20\text{mm}$ を標準
削孔間隔 : @750mmを標準
注入圧力 : 0.5MPa～1.3MPa程度
注入期間 : 20日～40日程度

- ①コンクリートに $\phi 20\text{mm}$ の削孔を行う
- ②油圧式圧入装置, 配管, パッカーを設置して, 浸透拡散型亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する
- ③所定の量の亜硝酸リチウムをコンクリート内部に圧入した後, 圧入孔を埋め戻す

リチウムイオンによるASR膨張抑制効果のみを目的とした工法

【ASRリチウム工法】 … メリットとデメリット

ASRリチウム工法のメリット

- ・亜硝酸リチウムによるASRゲル膨張抑制効果を最も積極的に活用する工法。
- ・アルカリ総量に応じて亜硝酸リチウム圧入量を定量的に設定することができる。

ASRリチウム工法のデメリット

- ・施工工期が長く、単位当たりの施工費が高価となる
- ・圧入後の表面仕上げによっては、ひび割れからの漏水や遊離石灰の析出などが目立つ場合もある

ASRリチウム工法の適用範囲

- ・ASRの場合、変状が生じている「進展期」以降での適用が多い
- ・プレストレストコンクリート部材への適用は現時点で実績なし
(適用に向けて研究開発に着手)
- ・残存膨張性が無害の場合には適用する意味がない

ASRリチウム工法の積算

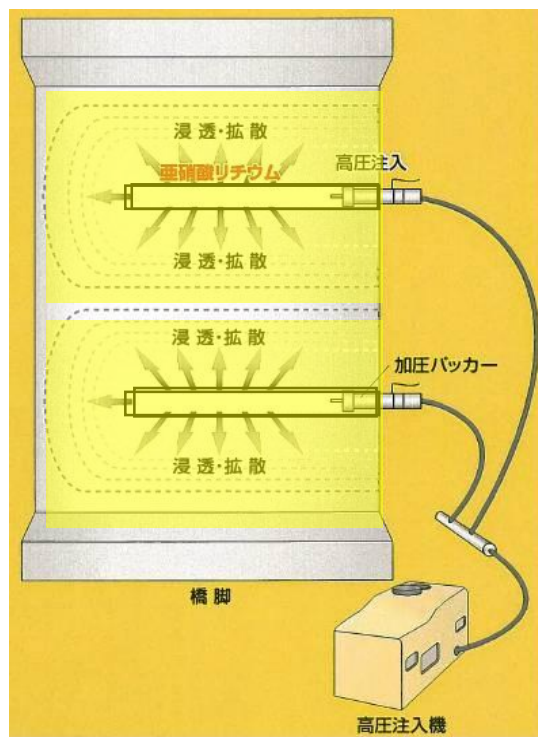
- ・ASRリチウム工法協会標準歩掛にて積算
- ・単位あたり施工費は規模、アルカリ総量、コンクリート強度等によって大きく変動

【ASRリチウム工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量

劣化機構 : ASR

設計に必要な値 : アルカリ総量(亜硝酸リチウム圧入量の設定)
部材構造寸法(亜硝酸リチウム圧入範囲の設定)
コンクリート圧縮強度、静弾性係数(設計圧入日数の算定)

亜硝酸リチウム必要量の設計 ⇒ アルカリ総量に応じて設定する
[Li⁺] / [Na⁺] モル比 = 0.8となる量



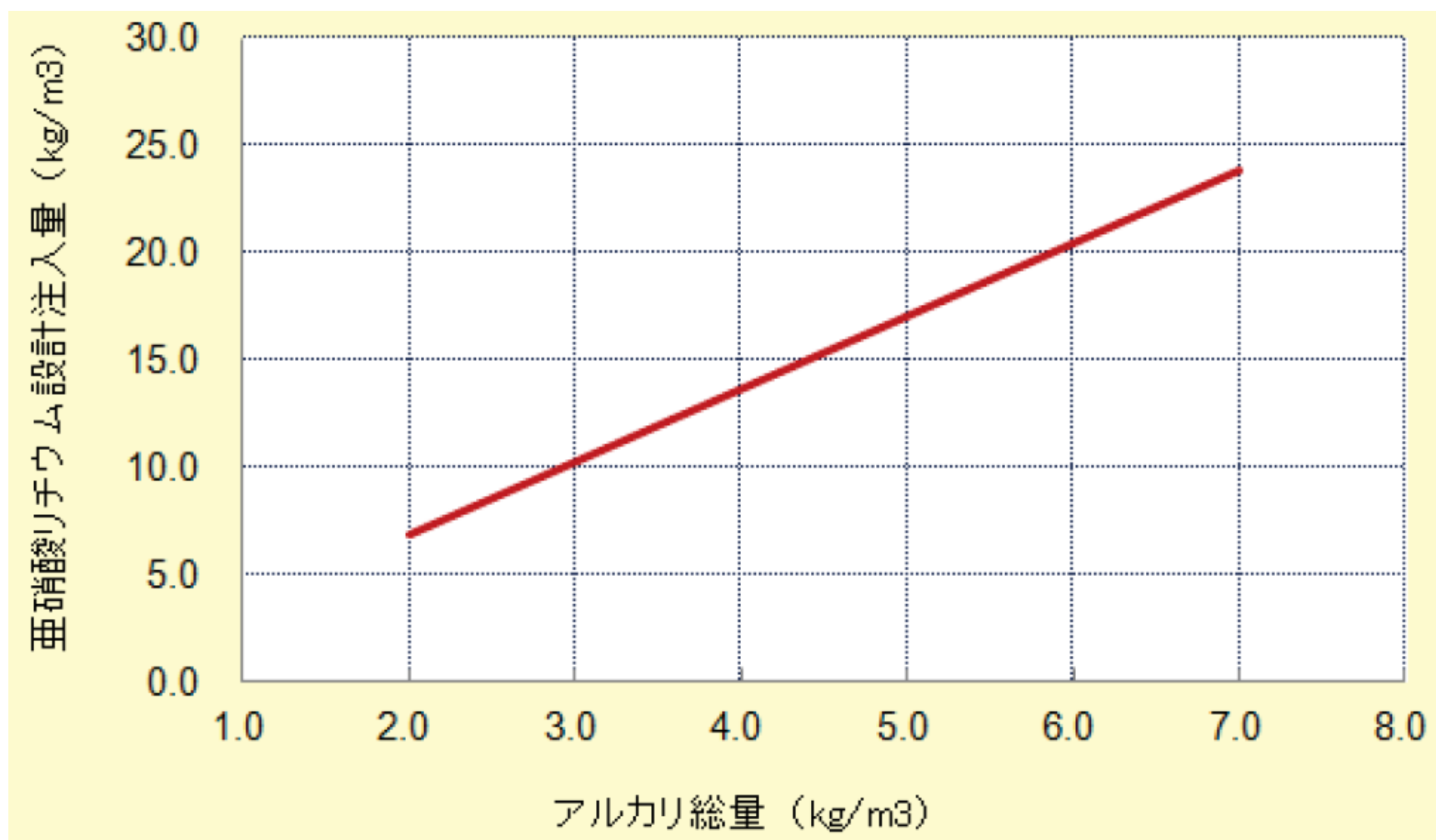
【設計上の仮定】

コンクリート部材全体にリチウムイオンを均一濃度で分布させる

【圧入可能量】

限界圧入量 : 37kg/m³程度
(アルカリ総量11kg/m³相当)

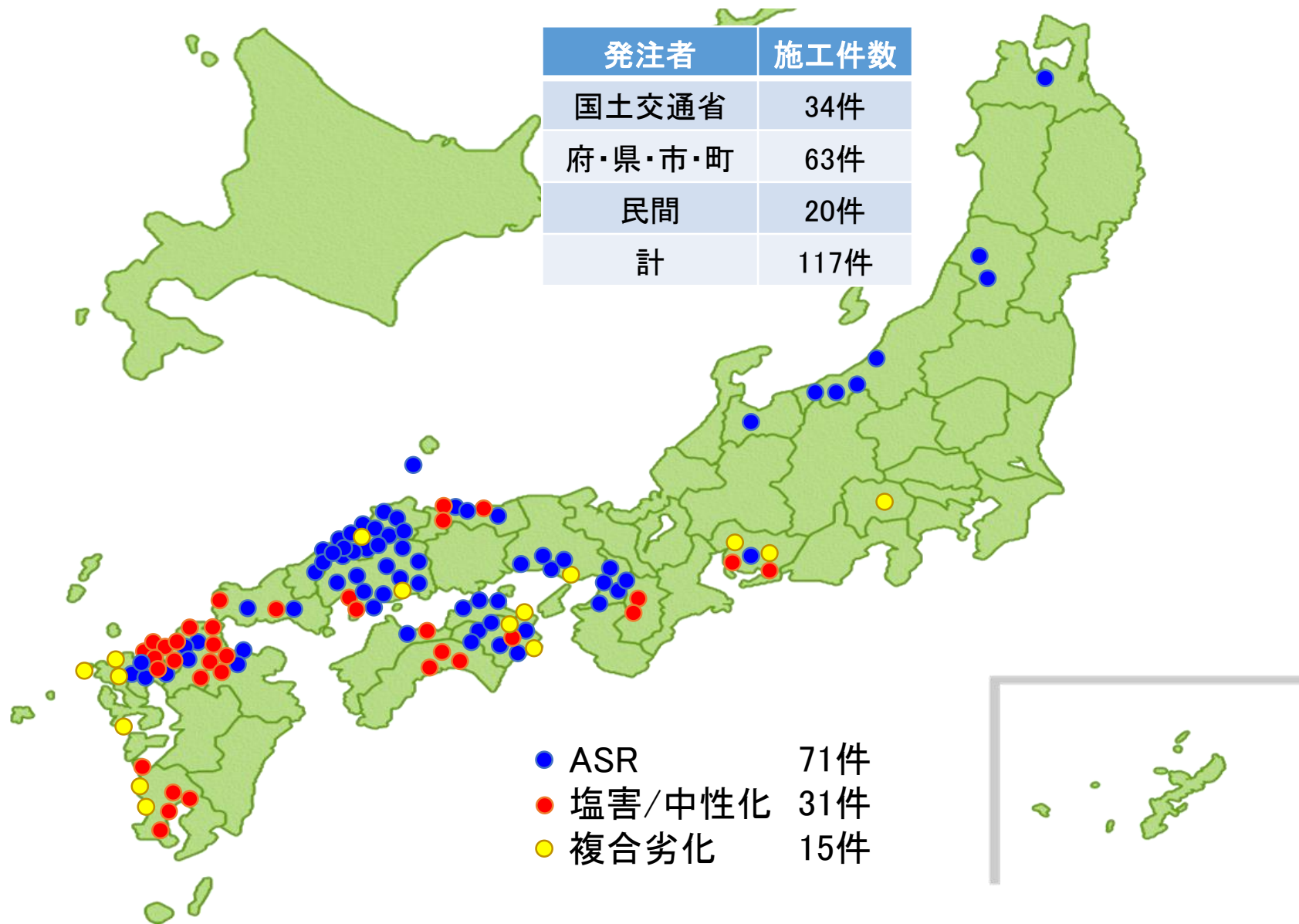
【ASRリチウム工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量



アルカリ総量と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

【亜硝酸リチウム内部圧入工 施工実績】

亜硝酸リチウム内部圧入工法 施工実績図 (2019年5月現在)



3. 構造物の健康寿命を延ばすための 亜硝酸リチウムの活用事例

【塩害対策として①】 進展期の予防保全対策

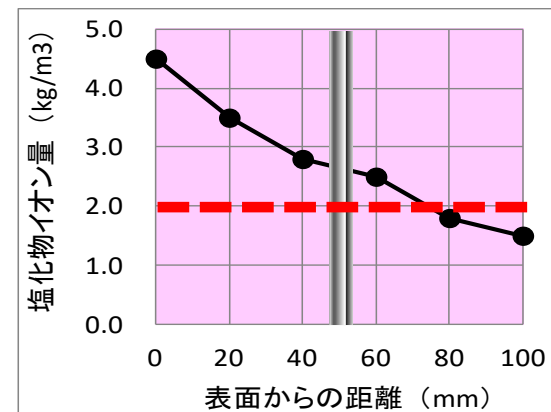
・外観変状は見られないが、既に鉄筋腐食進行の懸念

- ⇒ 潜伏期であれば一般的な表面含浸工法で十分
- ⇒ 進展期になると、不動態皮膜は既に破壊されているため、劣化因子の侵入抑制のみでは進行中の鉄筋腐食によって将来的にひび割れ等の変状が生じる可能性が高い



・表面含浸工の補修要求性能を「劣化因子の遮断」+「鉄筋腐食の抑制」とする

- ⇒ 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工『プロコンガードシステムS』を適用
- ⇒ 表面下で進行中の鉄筋腐食に対して亜硝酸イオンを仕込んでおく
- ⇒ 亜硝酸イオンの浸透に半年～1年程度かかるが、鉄筋腐食の顕在化までに間に合えば効果あり



下地処理工

『プロコンガードプライマー』
塗布

(亜硝酸リチウム系表面
含浸材)

プロコンガードS塗布
(シラン・シロキサン系表面含浸材)

吸水防止層
によって
劣化因子を遮断



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

【塩害対策として②】 構造物全体を考慮した総合的な事後保全

- ・鉄筋腐食進行によって広範囲にコンクリートの浮き、剝離が発生している
 - ⇒ 浮き、剝離、鉄筋露出範囲には必然的に部分断面修復を行う
その範囲にある鉄筋には亜硝酸リチウムを直接塗布できるため、
鉄筋腐食の進行は抑制される
- ・問題は、断面修復部以外の範囲をどうするか？
 - ⇒ 同じ腐食環境であれば、将来的には鉄筋腐食が進行することは明らか



- ・断面修復部にも、それ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、剝離箇所：『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』



【施工例】 H30年
国土交通省
四国地方整備局
「本谷橋」

【塩害対策として③】 床版上縁側の鉄筋腐食も確実に抑制

- ・橋面からの凍結防止剤、内在塩分等の影響により床版上縁側鉄筋が腐食
 - ⇒ 下縁側鉄筋であれば電気防食も適用可だが、上縁側までは適用不可
 - ⇒ 交通規制して床版上面側から長期間にわたる施工を行うことも困難



- ・交通を規制せず、床版下面からの施工で上縁、下縁の両鉄筋を防錆
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『リハビリカプセル工法』を適用
 - ⇒ 床版下面側から部材全体に亜硝酸リチウムを供給し、床版上縁および下縁の両鉄筋の腐食抑制を図る



これまで困難だった床版上縁側鉄筋の防錆を交通規制なしで実現した事例



【施工例】 H26年
鳥取県中部総合事務所「一の宮橋」



【塩害対策として④】 橋台背面側の鉄筋腐食も確実に抑制

- ・背面からの水分、内在塩分等の影響により橋台背面側鉄筋が腐食
 - ⇒ 前面側鉄筋であれば電気防食、リハビリカプセル工法などが適用可
しかし、これらの工法では背面側鉄筋の防錆は不可
 - ⇒ 背面側の土砂を掘削して何らかの対処を行うことも困難



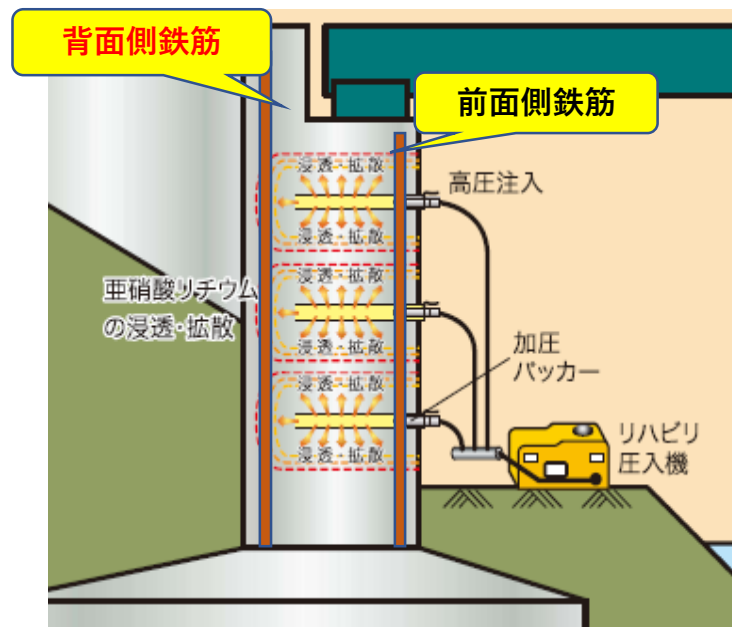
- ・橋台背面側を掘削せず、前面側からの施工で前面、背面側鉄筋を防錆
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用
 - ⇒ 本来はASR対策用の工法だが、部材全体に亜硝酸リチウムを供給することで、背面側鉄筋の腐食抑制を図る



これまで困難だった橋台背面側鉄筋の防錆を掘削なしで実現した事例



【施工例】 H25年
国土交通省中国地方整備局「柳川橋」



【塩害対策として⑤】 橋脚耐震補強の前に既設鉄筋の腐食を確実に抑制

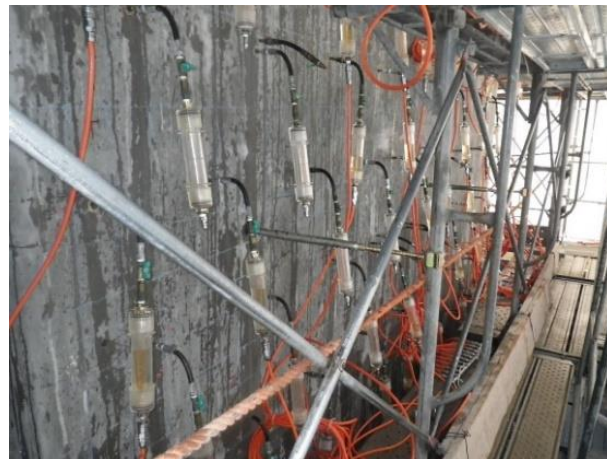
- ・耐震補強としてRC巻立てを行う橋脚柱部材が塩害により鉄筋腐食していた
 - ⇒ 鉄筋腐食が進行している状況を放置したままRC巻立てを行ってしまうと、補強後に鉄筋腐食進行があった場合に耐震性能を保障できなくなる。
 - ⇒ さらに、その段階では適切な補修工事を施すことができなくなっている。



- ・まず橋脚柱部の鉄筋腐食を抑制した後にRC巻立てを施工する
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『リハビリカプセル工法』を適用
 - ⇒ 削孔深さの設定により亜硝酸リチウムの浸透範囲を調整することができるため、2段配筋となっている主鉄筋でも防錆可能



設計思想どおりの耐震性能を保障するための既設鉄筋腐食抑制を図った事例



【施工例】
H27年
国土交通省九州地方整備局
「小浜橋」

【ASR対策として①】 変状が軽微だが残存膨張性は有害

・ASR膨張によって軽微なひび割れが発生している

⇒ 必要最小限の対策として、水分遮断の目的で以下の補修を行う

ひび割れ箇所：ひび割れ注入工

部材全体：表面保護工



・各種補修工法に亜硝酸リチウムを併用することによって、再劣化までの期間を延ばすことができ、一般工法の組合せよりもLCCで有利となる

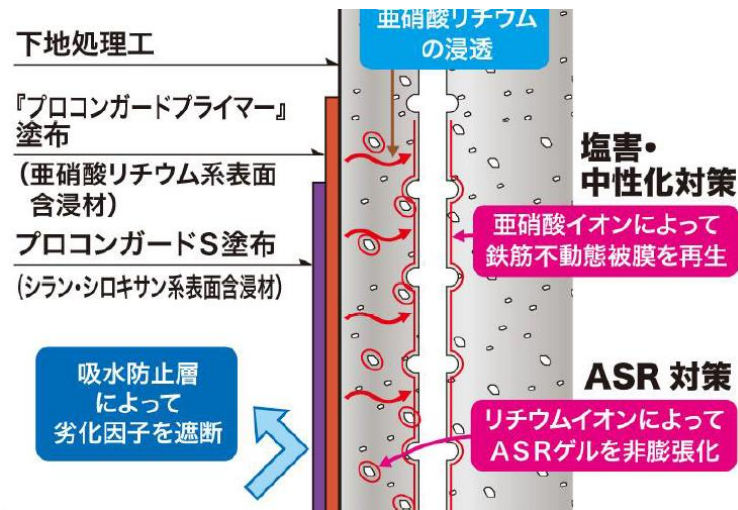
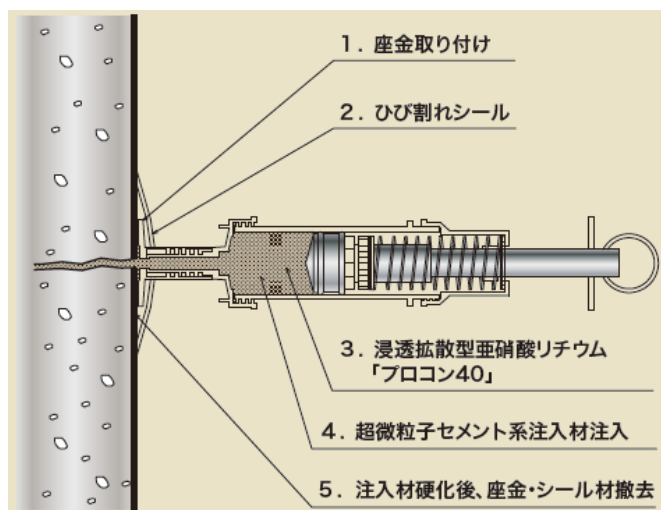
⇒ 亜硝酸リチウムを併用した各種補修工を選択する

ひび割れ箇所：『リハビリシリンドラー工法』

部材全体：『プロコンガードシステムS』

⇒ 条件によっては水分遮断のみでASR膨張を抑制できる可能性もある

⇒ ASRひび割れによって内部鉄筋が腐食環境となる場合でも、補修材料に亜硝酸リチウムを併用することで鉄筋腐食抑制も考慮することができる



【ASR対策として②】 ASRの再劣化が生じたRC構造物の補修

・過去に行ったASR補修が再劣化を生じている事例が多数

- ⇒ 水分遮断の目的で以下の補修が実施されたが、再劣化
ひび割れ箇所：ひび割れ注入工(エポキシ樹脂3種)
部材全体：表面被覆工(柔軟型厚膜被覆)

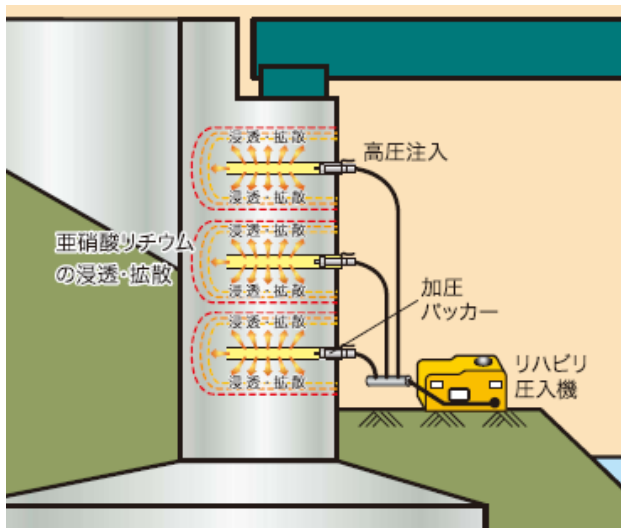


・従来工法(追従性あり)ではその構造物のASR膨張を止めることができなかったという状況証拠

- ⇒ これ以上再補修を繰り返したくない場合には根本的に膨張抑制
亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用



ASR再劣化事例に対し、次の一手としてASRリチウム工法が採用される事例多数



【施工例】 H28年
兵庫県中播磨県民センター「京見橋」

4. 亜硝酸リチウムを用いた 補修工法の選定の考え方

【塩害】・・・劣化過程

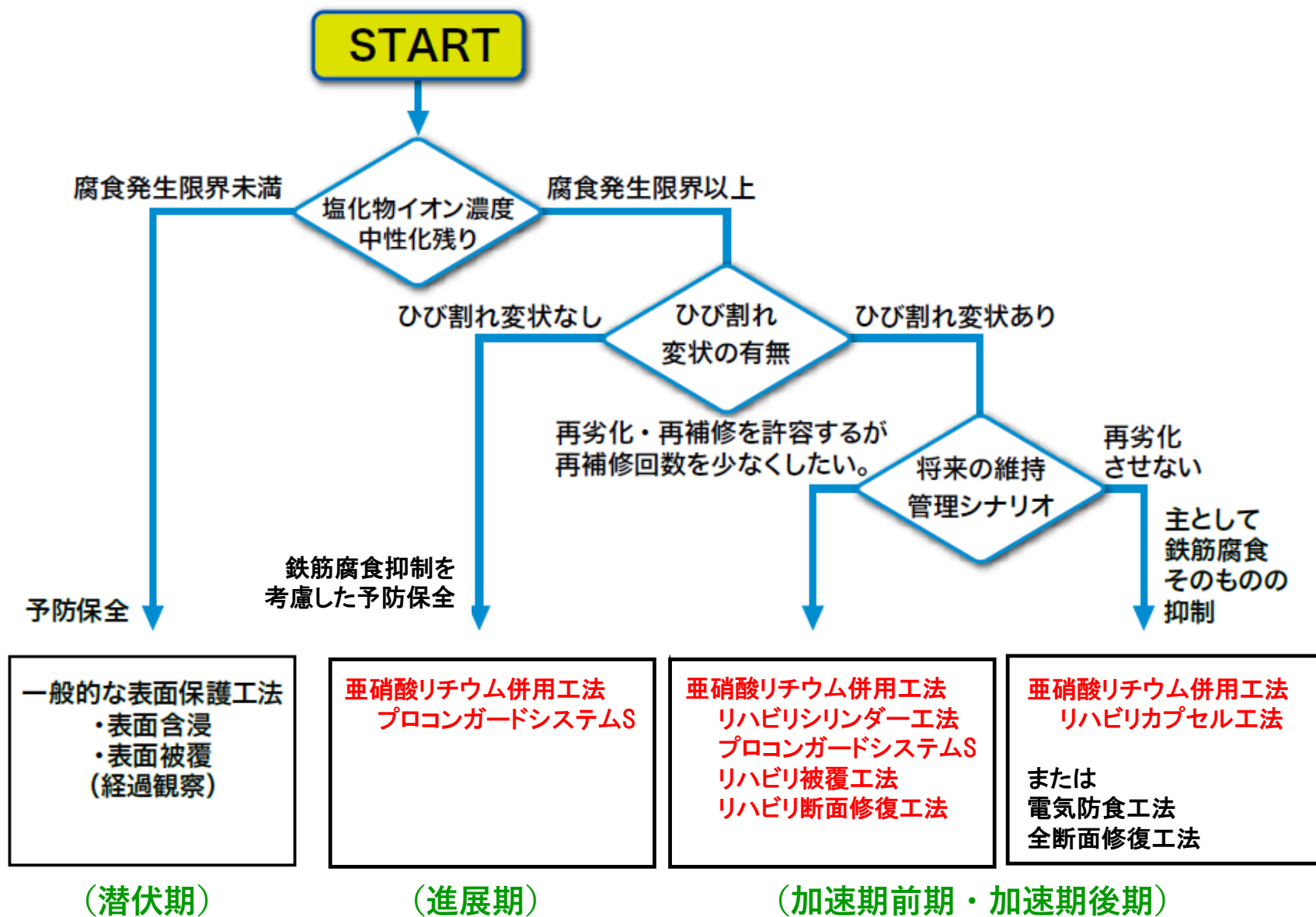
外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度 以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度 以上 ， 腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生 ，さび汁が見られる
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生，腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる， 鋼材の著しい断面減少は見られない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少がみられる，変位・たわみが大きい

出典：2018年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）

[塩害の劣化指標]

- ・塩化物イオン濃度
- ・鋼材腐食量
- ・腐食ひび割れ

【塩害・中性化で劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



【アルカリシリカ反応(ASR)】・・・劣化過程

外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ 発生せず ，外観上の変状が見られない
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し， 軽微なひび割れが発生 する。変色，アルカリシリカゲルの滲出が見られる場合もある。しかし，鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによるひび割れが進展し， ひび割れの幅および密度，範囲が増大 する。また， 鋼材腐食によるさび汁 が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し，段差，ずれや，かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。 鋼材腐食が進行 し，さび汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

出典：2018年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）

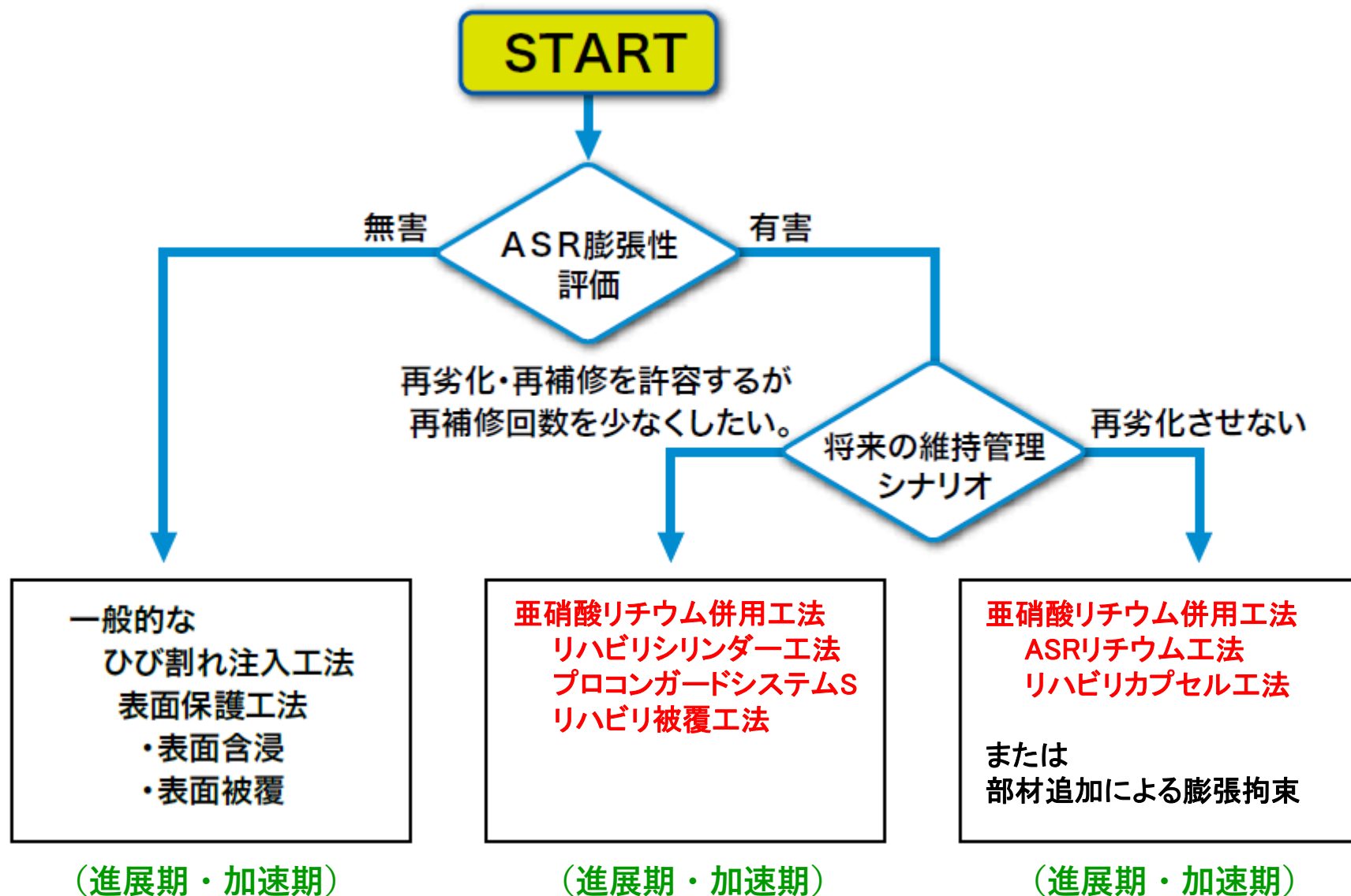
【ASRの劣化指標】

- ・膨張量
（ひび割れ）

【加速期の定義の変更】

- ・膨張の進行速度の記述が削除された
（⇒確かめようがないため）

【ASRで劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



おわりに

【亜硝酸リチウム補修工法の選定方法】

- ・構造物の**変状の種類(ひび割れ、浮き等)**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
- ・**劣化機構(塩害、ASR等)**に応じて補修工法を選定する
⇒ 不働態皮膜再生、ASRゲル非膨張化
- ・**劣化過程(程度)**に応じて補修工法を選定する
⇒ 主たる要求性能にプラスアルファ
- ・補修後の**維持管理シナリオ**を考慮して補修工法を選定する
⇒ 再劣化を許容しないシナリオにも適用可能な内部圧入



『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

END