

亜硝酸リチウム補修技術と健康寿命

～ 定量的な補修によって構造物の健康寿命を延ばす ～

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

主な内容

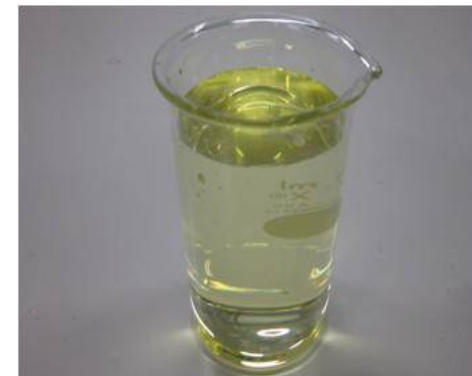
1. はじめに
 - 亜硝酸リチウムとは
2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術
 - ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』
 - 表面含浸工法 『プロコンガードシステム』
 - 内部圧入工法 『リハビリカプセル工法』
 - 内部圧入工法 『ASRリチウム工法』
3. 健康寿命を延ばすための亜硝酸リチウム活用事例
 - 塩害対策として
 - ASR対策として
4. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法の選定の考え方
 - 補修工法選定フローの例

1. はじめに

【亜硝酸リチウム】

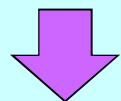
- ・リチウム系化合物のコンクリート補修材料
- ・原材料は「ナフサ」, 「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40%(限界濃度)

Lithium Nitrite ; LiNO_2



亜硝酸イオン
 NO_2^-

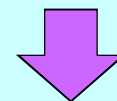
不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する



『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

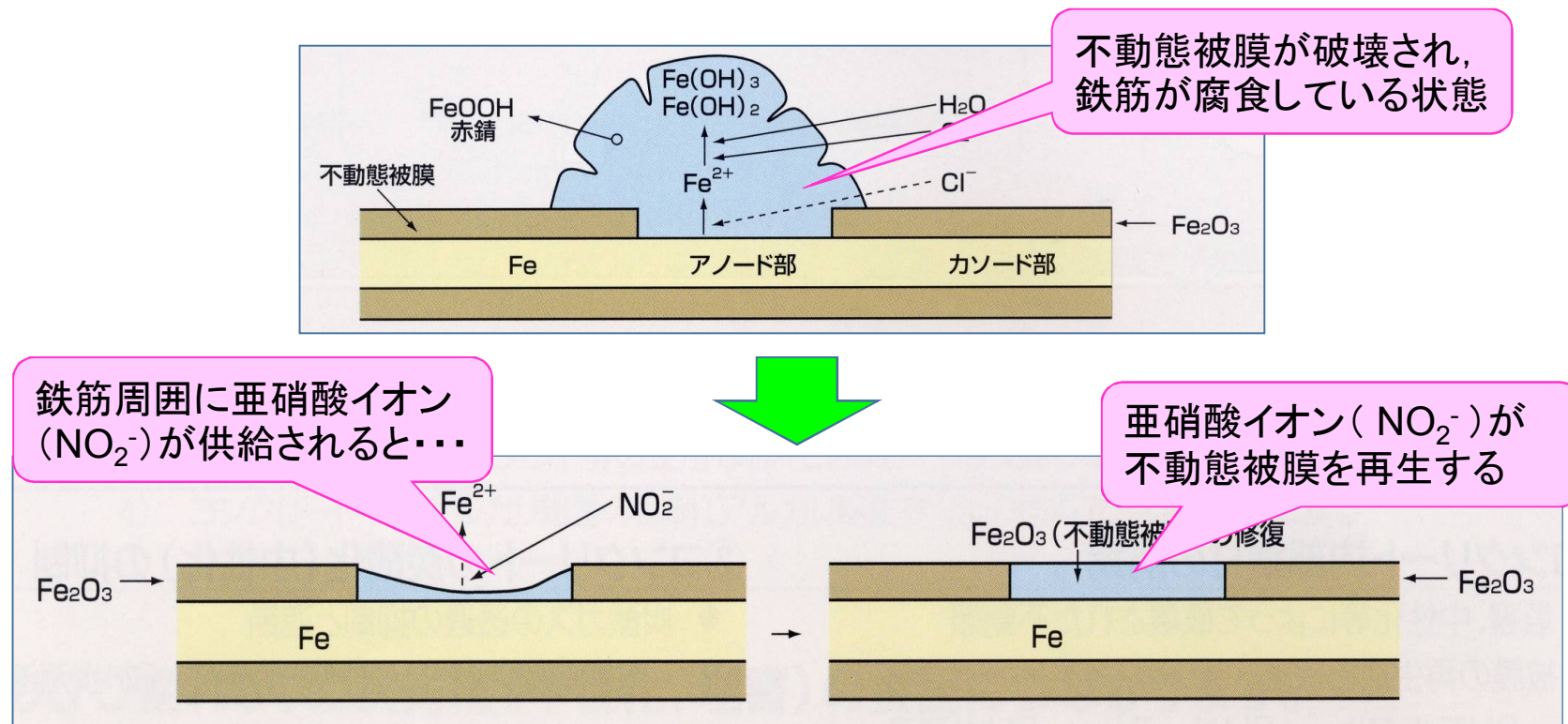
アルカリシリカゲルを
非膨張化する



『ASR対策』

【亜硝酸リチウム】 … 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



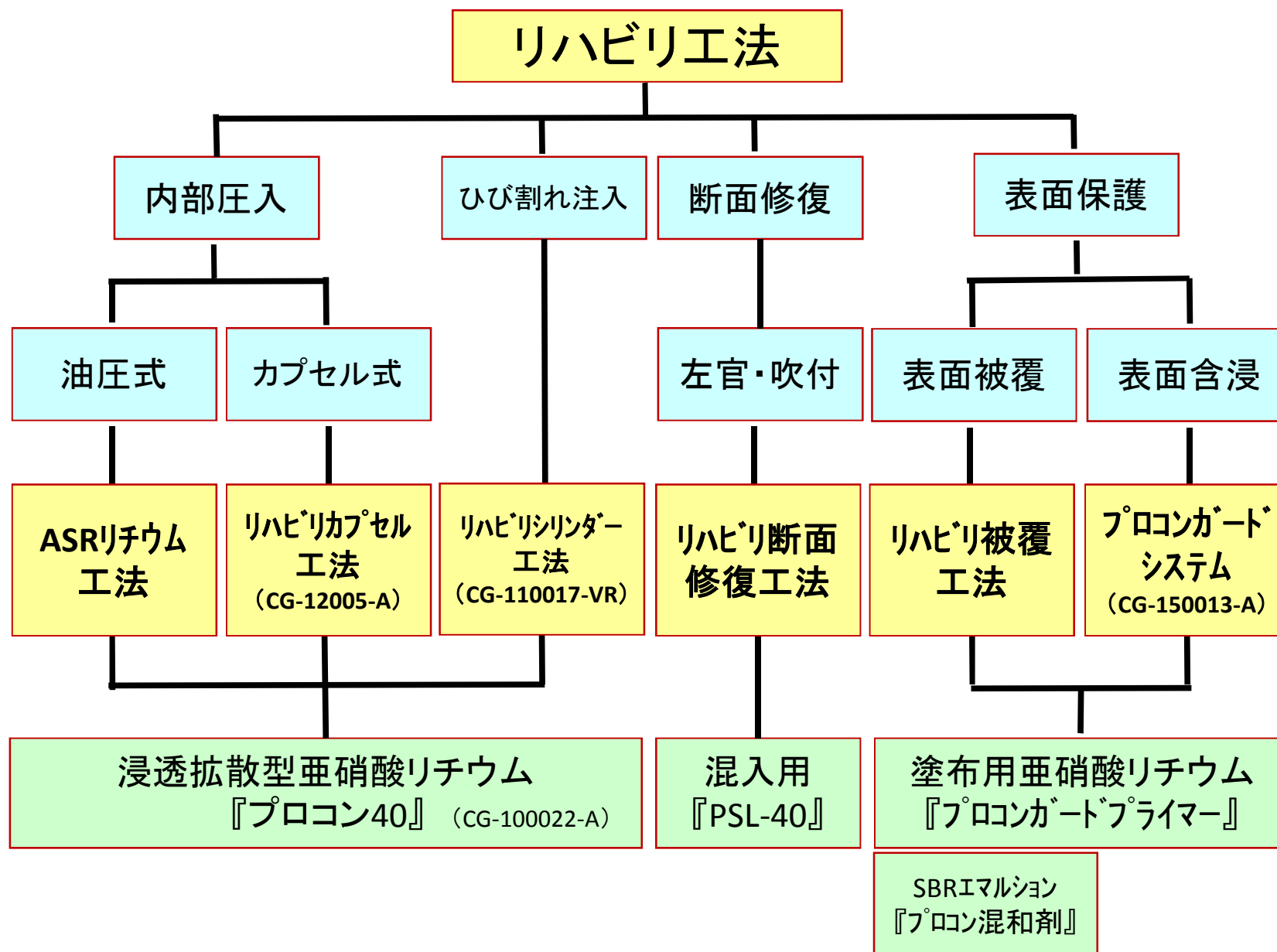
亜硝酸イオン(NO_2^-)による不動態被膜再生メカニズム

【亜硝酸リチウム】 … 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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ <p>(アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張!)</p>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ <p>NaとLiとのイオン交換</p>

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



2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

2.1 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、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スクラ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

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

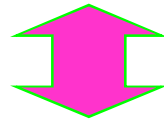
超微粒子セメント系注入材注入状況

9

【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

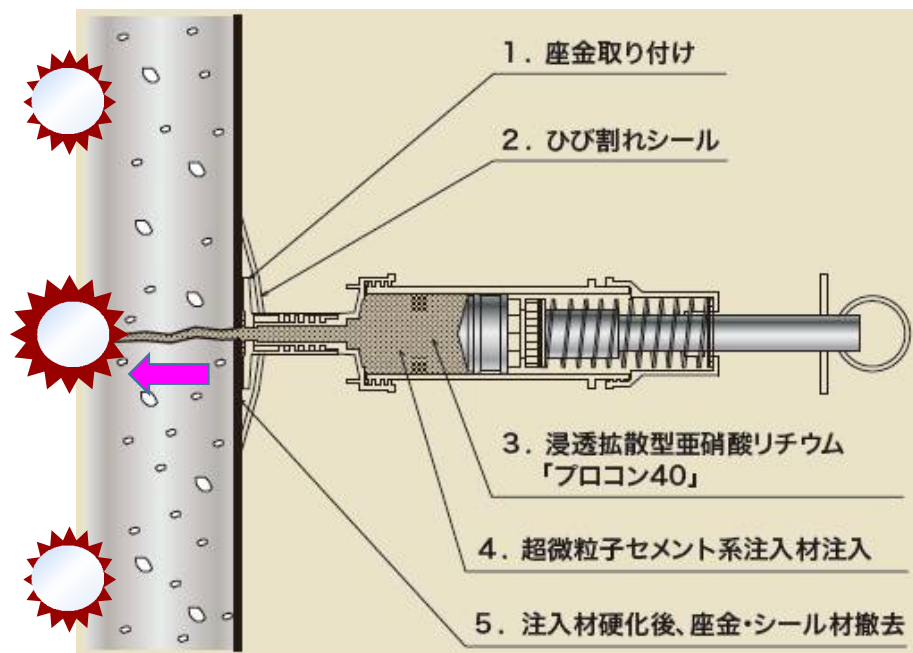


リハビリシリンダー工法

- 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



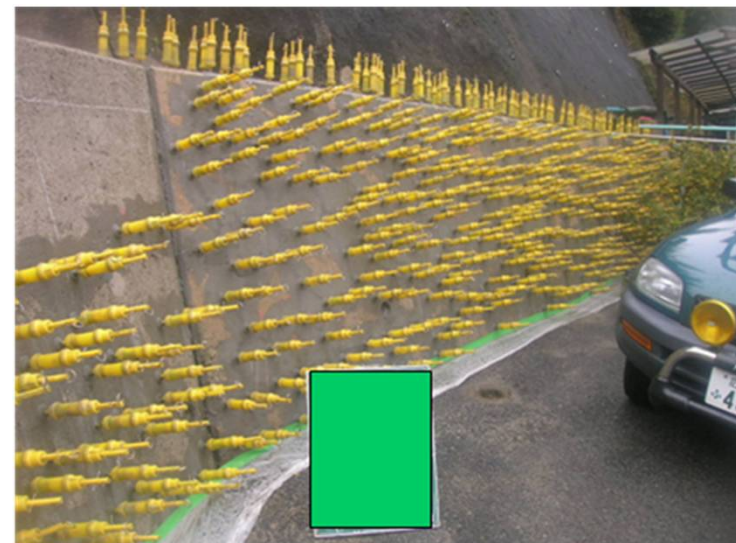
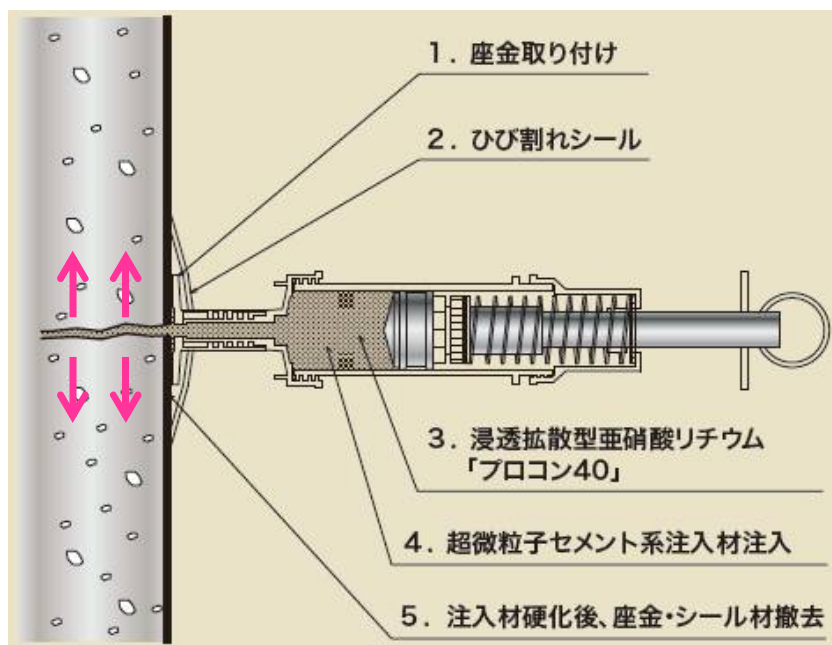
- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

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】 … 工法概要 (ASR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 『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与



- 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 ⇒ ゲルの非膨張化
- 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

ASR膨張抑制効果(部分的)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**を付与できる
 - 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、**微細なひび割れ**にまで注入可能

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限界

- ・**主たる目的**はあくまで「ひび割れの閉塞、劣化因子の侵入抑制」
- ・超微粒子セメント系注入材 : 注入可能ひび割れ幅 0.2mm～10.0mm
- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム : **プラスアルファの効果の限界**
 - 鉄筋腐食抑制効果はひび割れの範囲のみに限定される
 - ASR膨張抑制効果はひび割れの周囲のみに限定される
 - 亜硝酸リチウムの物理的な注入可能量に限界がある

2. 2 表面含浸工法 『プロコンガードシステム』



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」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、その適用範囲は各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線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悪くす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。

施工手順

- ①下地処理
サンダーケレン及び高圧水洗い等でコンクリート表面の微細塵や汚れを除去する。
- 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。必要に応じて濃度発生を促す。
- ③「プロコンガード」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0.1kg/m²)を塗布する。

施工の注意事項

- 「プロコンガードプライマー」は規定量を必ず密着して下さい。
- 「プロコンガードプライマー」塗布後、乾燥状態を確保して下さい。(水分率5%以下)
- 「プロコンガード」を塗布して下さい。(躯体の状況に応じて希釈して使用してください)
- 0℃以上で施工して下さい。

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層を緻密化し、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膜を形成し、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層では、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)

プロコンガードシステムHP仕様について

本工法は条件(*)によって施工後に白化現象を生じることがあります。白化現象を起こさない組合せとして以下のHP仕様もございます。

- 1層目: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)
- 2層目:プロコンガードHP(高分子系浸透性表面保護材)

*例えば、断面修復材の表面やPC部材など、密実度の高い部位に適用する場合、また亜硝酸リチウム内部注入工法の施工後に適用する場合など。

中性化に対する抵抗性試験 JIS A 1152

中性化に対する抵抗性試験 JIS A 1152
グラフは実測結果であり、必ずしもこのような結果ではありません。

中性化に対する抵抗性試験 JSCE-KS71-2004

中性化に対する抵抗性試験 JSCE-KS71-2004

施工概念図

下地処理
「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」塗布
(高分子系浸透性表面保護材)

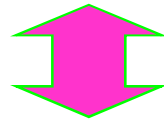
亜硝酸リチウムの浸透
鉄筋・中性化対策
亜硝酸イオンによって鉄筋に不動態被膜を形成

ASR対策
リチウムイオンによってASRゲルの非膨張化

【プロコンガードシステム】 … 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

- 種類
- ・亜硝酸リチウム系含浸材 + けい酸リチウム系含浸材
- 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】 … 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『けい酸リチウム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



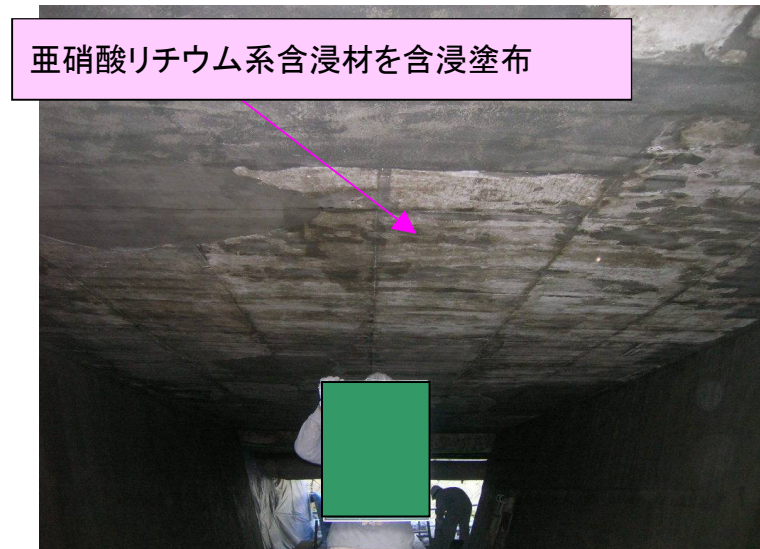
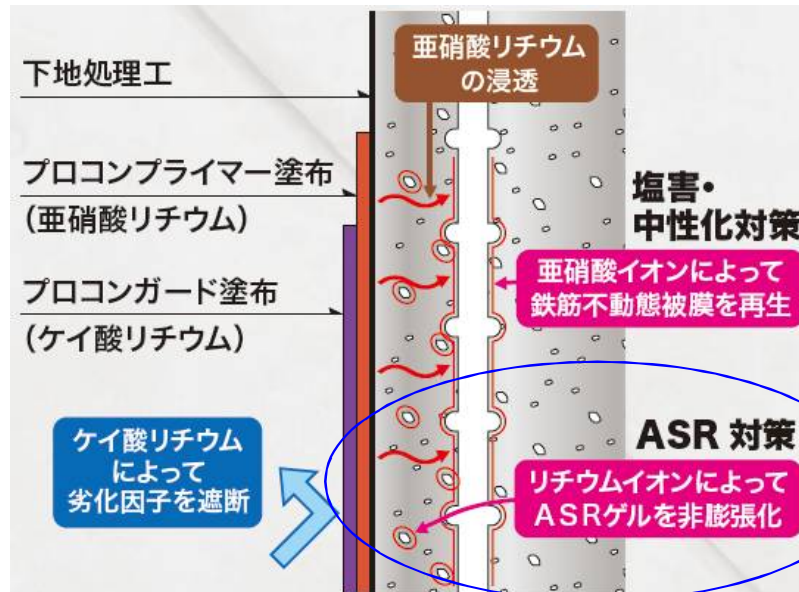
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③劣化因子の侵入を抑制するために、けい酸リチウム系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

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】 … 工法概要 (ASRの補修の場合)

基本性能 『けい酸リチウム系含浸材による劣化因子の遮断』

付加価値 『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与



- 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 ⇒ ゲルの非膨張化
- ③劣化因子の侵入を抑制するために、けい酸リチウム系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

ASR膨張抑制効果(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】 … メリットとデメリット

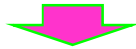
プロコンガードシステムのメリット

- ・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
- ・亜硝酸リチウムとけい酸リチウムとを組み合わせることにより、**中性化**に対する抵抗性が向上

プロコンガードシステムのデメリット

- ・**2種類**の材料を塗布しなければならない
- ・施工技能や環境条件によってはコンクリート表面の**白化現象**を生じることがある

プロコンガードシステムの適用限界

- ・一般的な表面含浸工法の適用範囲は基本的に「潜伏期」

- ・プロコンガードシステムは潜伏期を超えて「進展期」や「加速期前期」まで適用可能。**予防保全から軽微な変状の事後保全**まで適応。
- ・ただし、含浸深さ(=亜硝酸リチウムの効果)は**表層の数10mm程度**。
- ・また、亜硝酸リチウムの物理的な塗布可能量に限界がある。

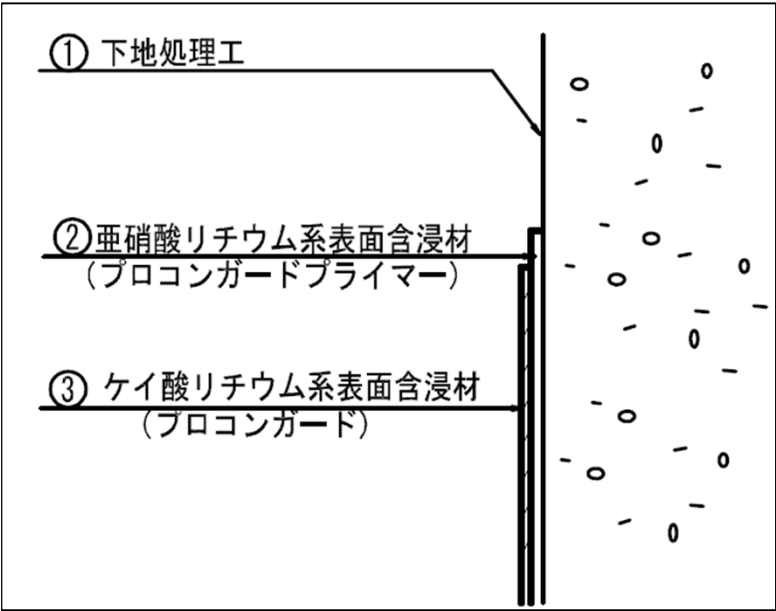
参考:プロコンガードシステム施工後の白化現象



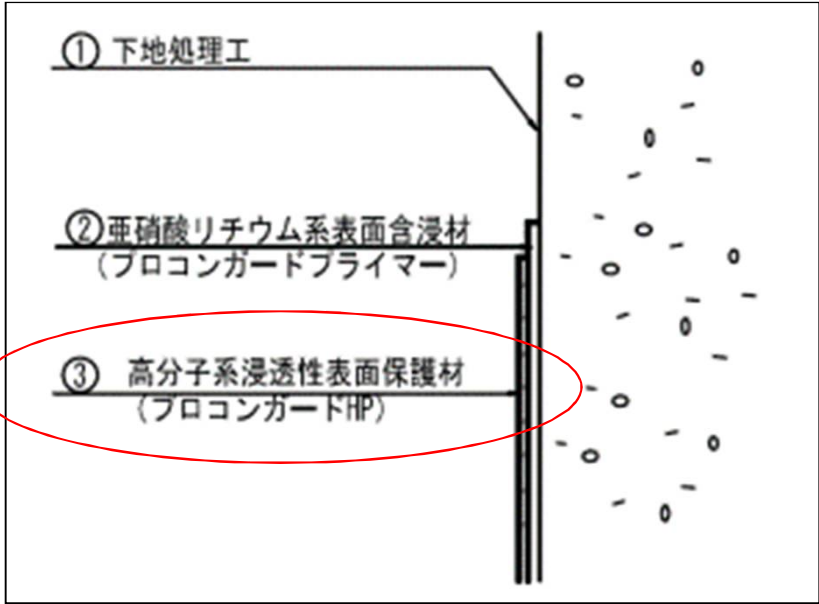
参考:プロコンガードシステム施工後の白化現象

【白化防止仕様のプロコンガードシステムHP】

- ・ **けい酸質**を含まない高分子系浸透性表面保護材(クリア)を使用
- ・ 高分子系浸透性表面保護材は表面含浸材には分類されないが、仕上がりが**半透明**で**モニタリング性**に優れ、表面含浸工法に類する適用が可能



標準仕様のプロコンガードシステム



白化防止仕様のプロコンガードシステムHP

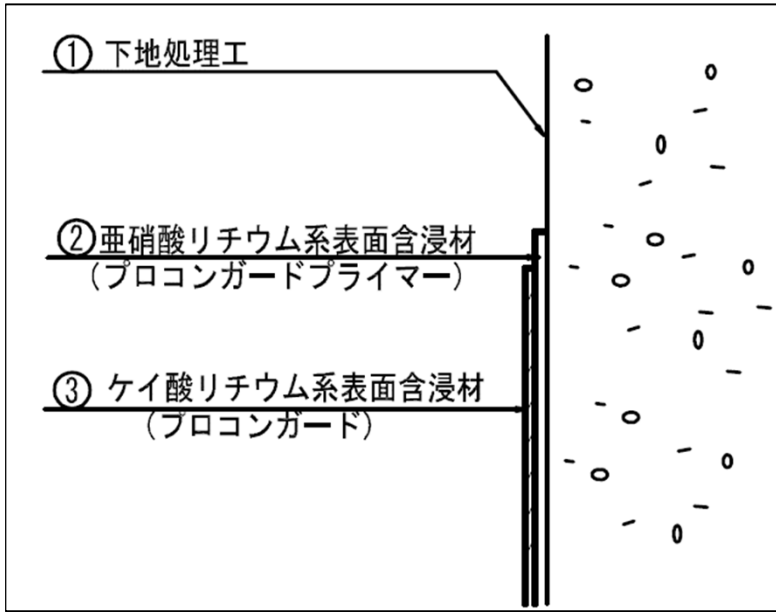
予告: 亜硝酸リチウムとシラン系含浸材を組み合わせた新しいプロコンガードシステム

【亜硝酸リチウム＋シラン系のプロコンガードシステムS】

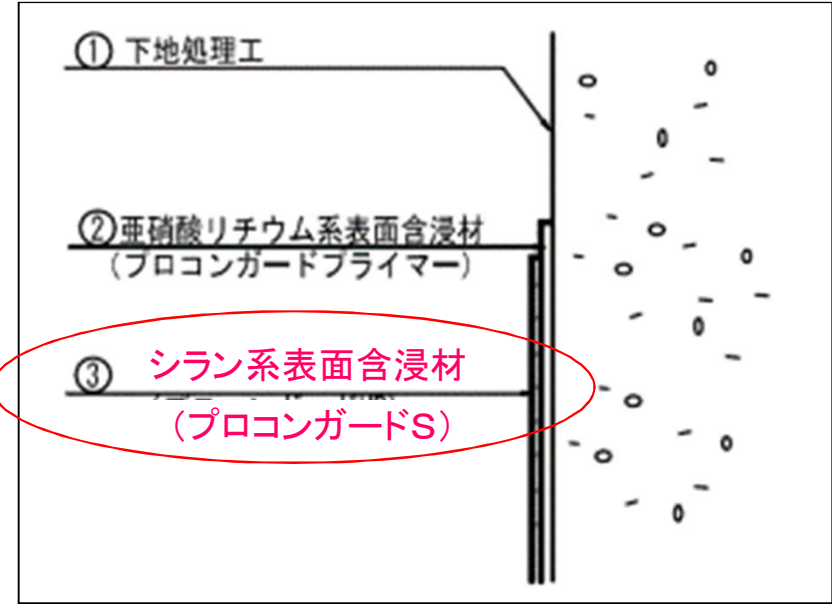
- ・これまで困難とされていた亜硝酸リチウムとシラン系材料との組み合わせ
⇒ 亜硝酸リチウムの保水性とシラン系材料の撥水性が反発



- ・亜硝酸リチウムとの相性を改良したシラン系材料の製品化により実現 (2018年秋)



標準仕様のプロコンガードシステム

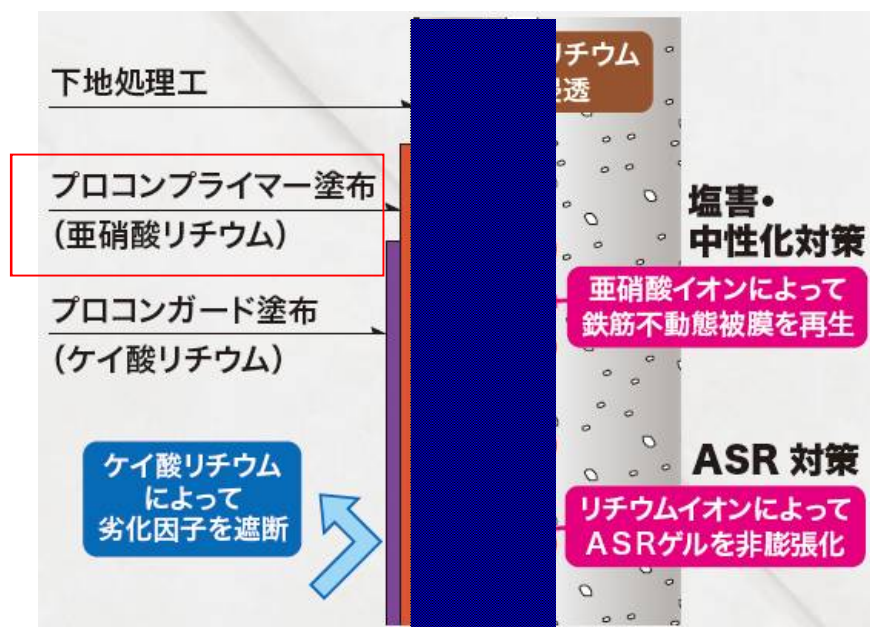


シラン系のプロコンガードシステムS

【プロコンガードシステム】 … 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
[NO₂⁻] / [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/m²

~

限界塗布量 : 1.0kg/m² 程度を目安

【プロコンガードシステム】 … 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

2.3 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%水溶液を内部圧入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを非酸化するため、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、大規模施工用の箱式圧入装置『リハビリ圧入機』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部材厚の小さな構造物の補修や軒端の部分的な補修のように、施工規模が小さい場合に合理的かつ経済的に適用することができます。

施工仕様

圧入装置: カプセル式高圧注入機『リハビリカプセル』
 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
 圧 入 孔: 粗孔径はφ10mm
 細孔間隔は500mmを標準とする
 (部材寸法や構造規模に応じて決定)
 粗孔深さは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』の露出を防ぎます。
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. 全圧入孔に対し本高圧注入機を行い、『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

亜硝酸リチウムの浸透・拡散

リハビリカプセル

カプセル式高圧注入機

非酸化リチウム

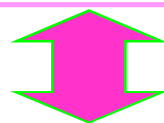
コンプレッサー

リハビリカプセル本体

【リハビリカプセル工法】 … 一般工法との違い

一般的な内部圧入工法

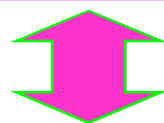
該当なし



リハビリカプセル工法

材料 ・浸透拡散型亜硝酸リチウム

目的 ・基本的に、
亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制（塩害・中性化）



根本的な鉄筋腐食抑制という
同じ目的で適用される工法

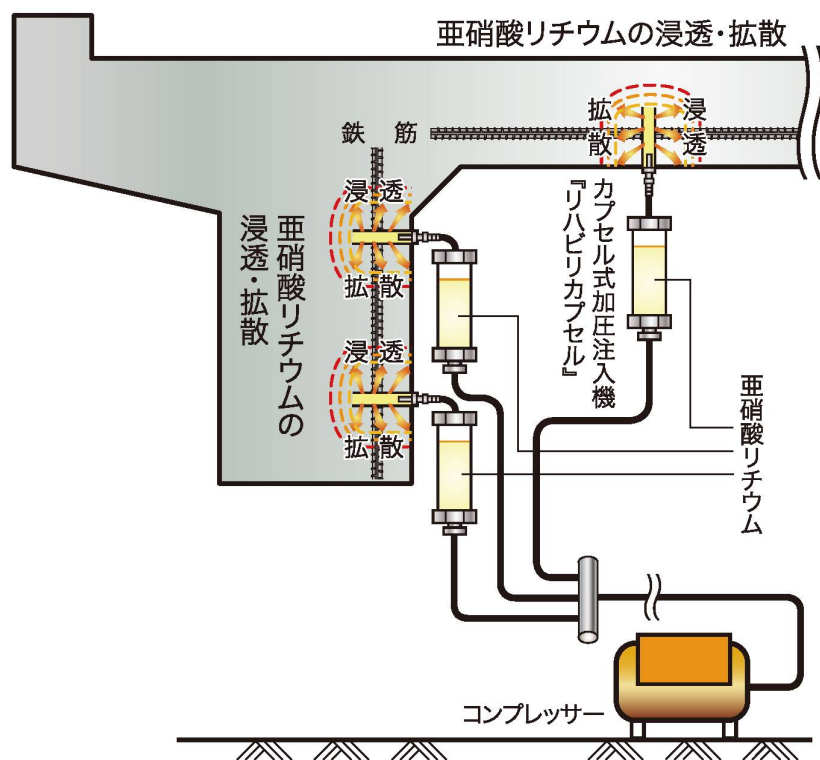
電気防食工法

目的 ・防食電流の通電による鉄筋腐食抑制（塩害・中性化）

【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-A)



- 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

不働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

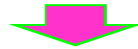
【リハビリカプセル工法】 … 施工状況



【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。



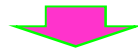
- ・腐食発生限界を超える塩化物イオン存在下でも鉄筋を腐食させない。

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、単位当たりの施工費が高価となる

リハビリカプセル工法の適用限界

- ・高強度コンクリートへの適用不可
（上限の圧縮強度：40N/mm²）
- ・塩化物イオン濃度が過度に含まれている場合は適用不可
（上限の塩化物イオン濃度：10kg/m³程度）
- ・浮き、はく離の著しい範囲には断面修復工法を施す必要がある。

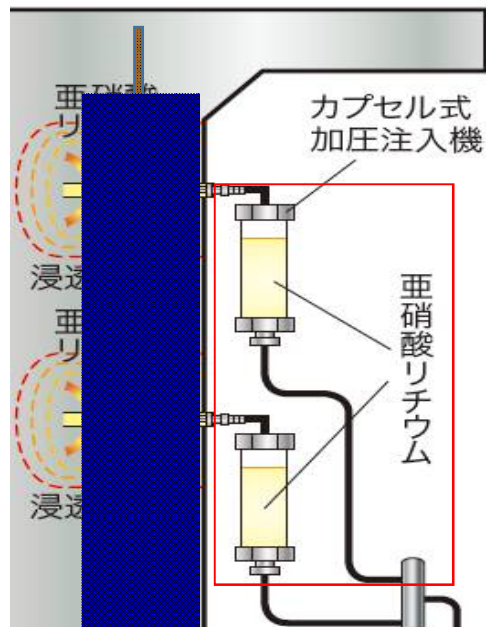


リハビリ断面修復工法とリハビリカプセル工法とを組み合わせた総合的な塩害補修

【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
[NO₂⁻] / [Cl⁻] モル比 = 1.0となる量



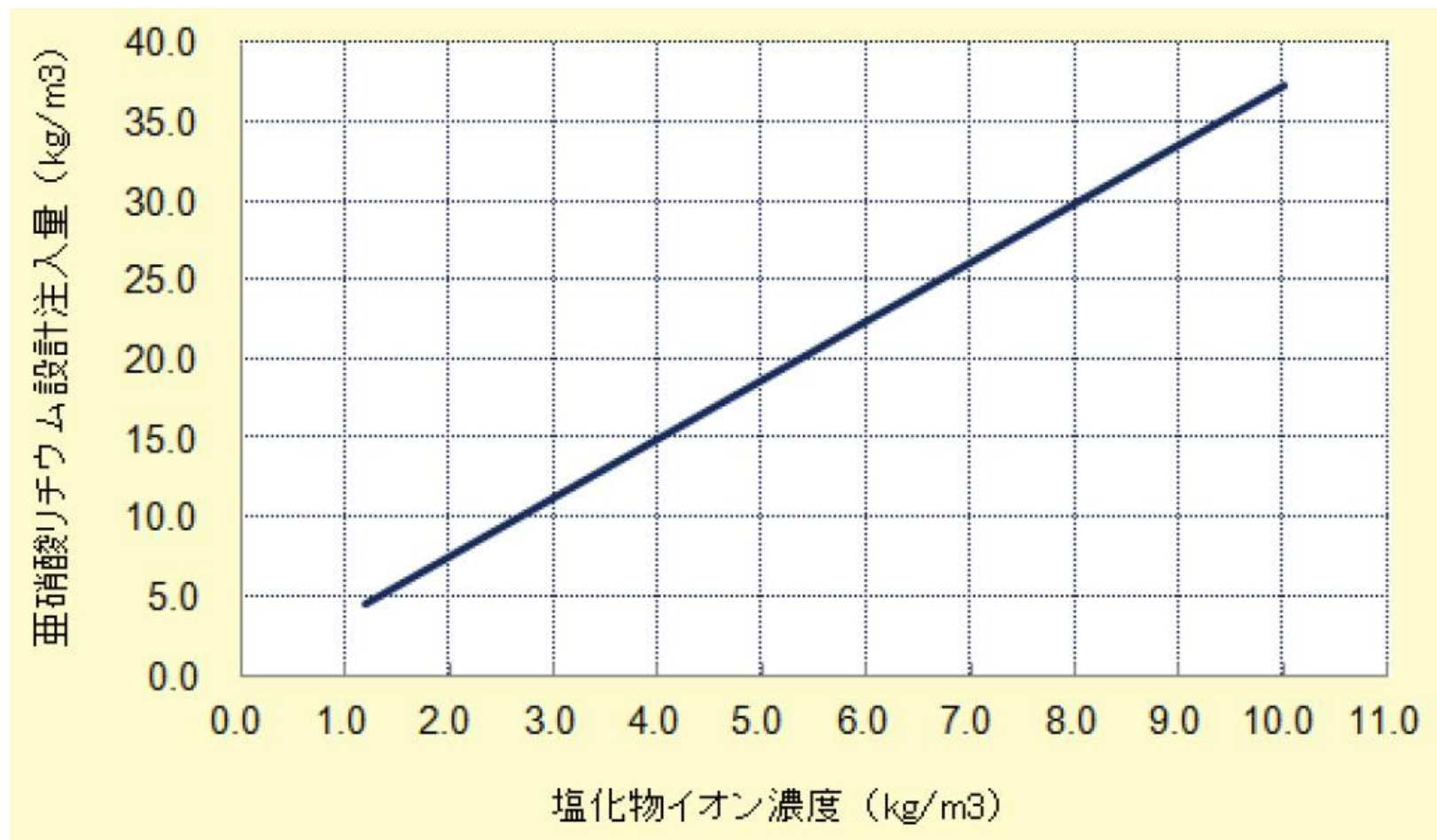
【設計上の仮定】

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/m³程度
(塩化物イオン10kg/m³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

【リハビリカプセル工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量

劣化機構が中性化の場合は？（現時点での見解）

- ・過去の実績から塩害補修における最小の亜硝酸リチウム必要量を準用する。
- ・すなわち、腐食発生限界塩化物イオン濃度（例えば 2.0kg/m^3 ）に対して必要となる亜硝酸リチウム量を設計圧入量（例えば 7.47kg/m^3 ）と定める。
- ・この量は、最も軽微な塩害劣化（＝腐食発生限界塩化物イオン存在時）に対して不動態皮膜を再生することができる最小値と言える。
- ・この「最も軽微な塩害劣化」を「中性化による劣化」と置き換え、その状況下でも不動態皮膜再生が確認されている量を中性化に対する亜硝酸リチウム必要量と定める、ということ。

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

施工仕様

圧入装置: 油圧式圧入装置「リハビリ圧入機」
抑制剤: 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液「プロコン40」
注入量: コンクリートのアルカリ総量(ASRの場合)や酸化剤イオン量(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: 開孔径はφ10mmまたはφ20mm(開孔深さに応じて決定)
開孔間隔は500mm~1,000mm(部材寸法や構造規模に応じて決定)
開孔深さは300mm~1,000mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはアイスサンダー等により下地処理します。
2. びびり孔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、新圧ホース、加圧バツカーを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験加圧注入工を行い、圧入工の適合性を評価します。
6. 全圧入孔に対し一斉に本加圧注入工を行い、「プロコン40」の設計量を内部圧入します。
7. 無収縮グラウト材より全圧入孔を充填します。
8. 表面を仕上げて施工完了です。

補修効果の検証

ASRリチウム工法によるASR補修を行う場合、本工法による補修効果は施工前後の残存膨脹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脹量試験結果(JCI-DD2法)の例

施工事例

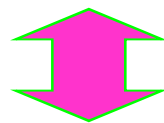
橋脚のASR補修事例
橋脚(はり型)のASR補修事例
橋脚のASR補修事例
大重量試験によるASR抑制効果検証実験

工法概念図

【ASRリチウム工法】 … 一般工法との違い

一般的な内部圧入工法

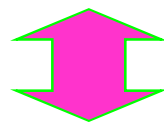
該当なし



ASRリチウム工法

材料 ・浸透拡散型亜硝酸リチウム

目的 ・基本的に、
亜硝酸リチウムによるASR膨張抑制（ASR）



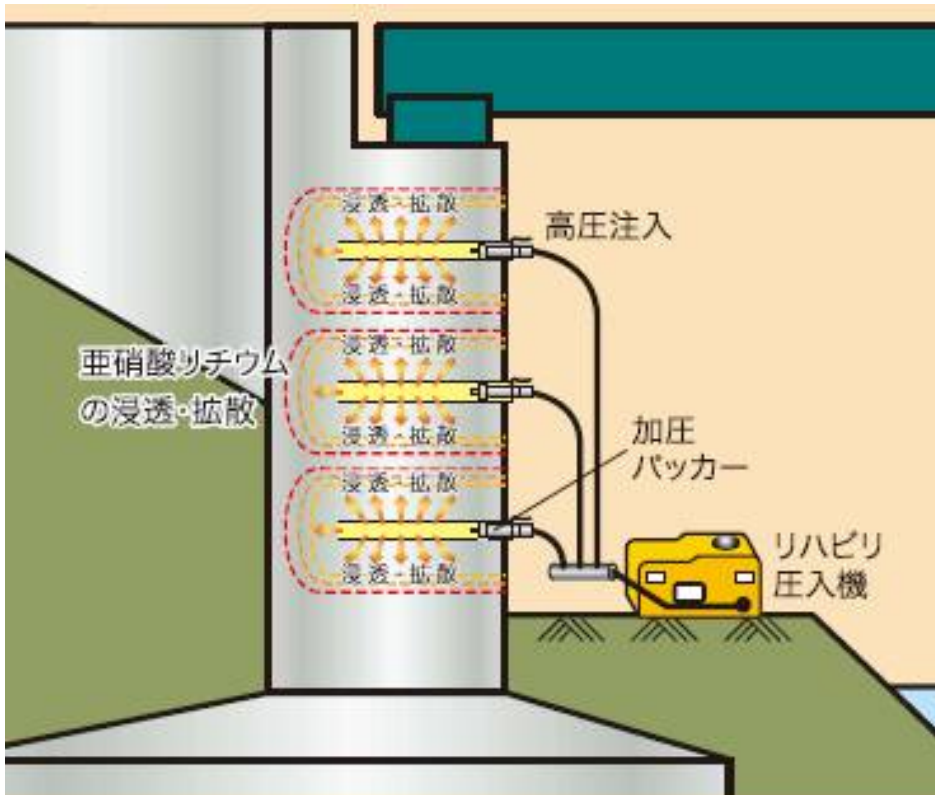
根本的なASR膨張抑制という
同じ目的で適用される工法

その他の新技術

該当なし

【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 $\phi 20\text{mm}$ の削孔を行い、圧入孔とする
- 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、圧入孔を無収縮グラウト材にて埋め戻す

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

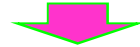
【ASRリチウム工法】 … 工法概要(ASRの補修の場合)



【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膨張を根本的に抑制する唯一の工法であり、再劣化が生じない。

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

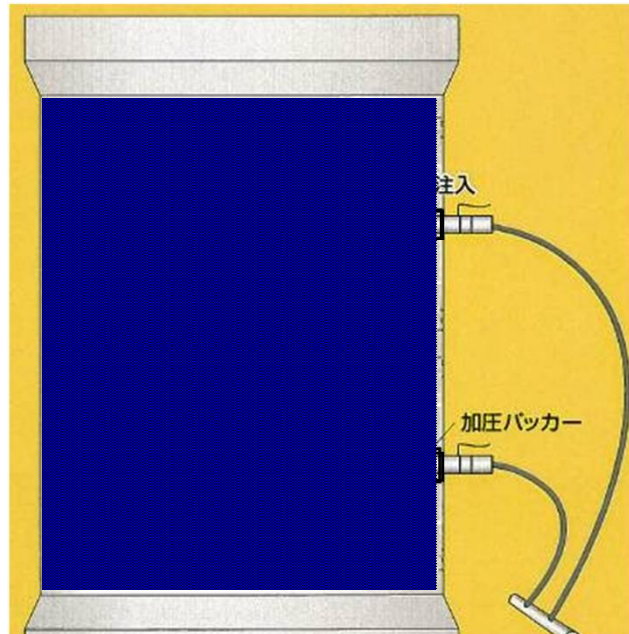
ASRリチウム工法の適用限界

- ・高強度コンクリートへの適用不可
(上限の圧縮強度: 40N/mm²)
- ・残存膨張量が無害の構造物に対しては適用する意味がない

【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



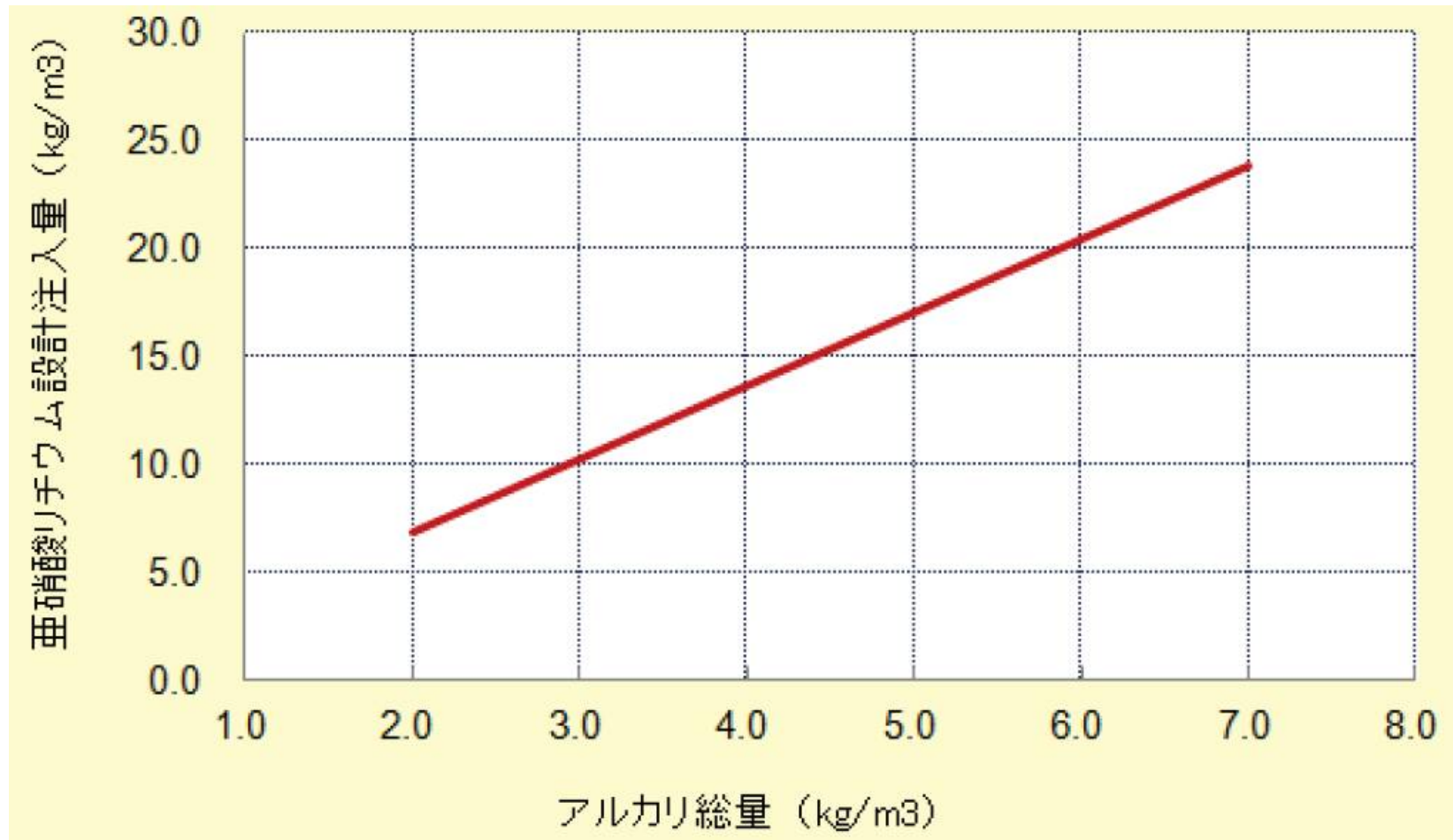
【設計上の仮定】

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】

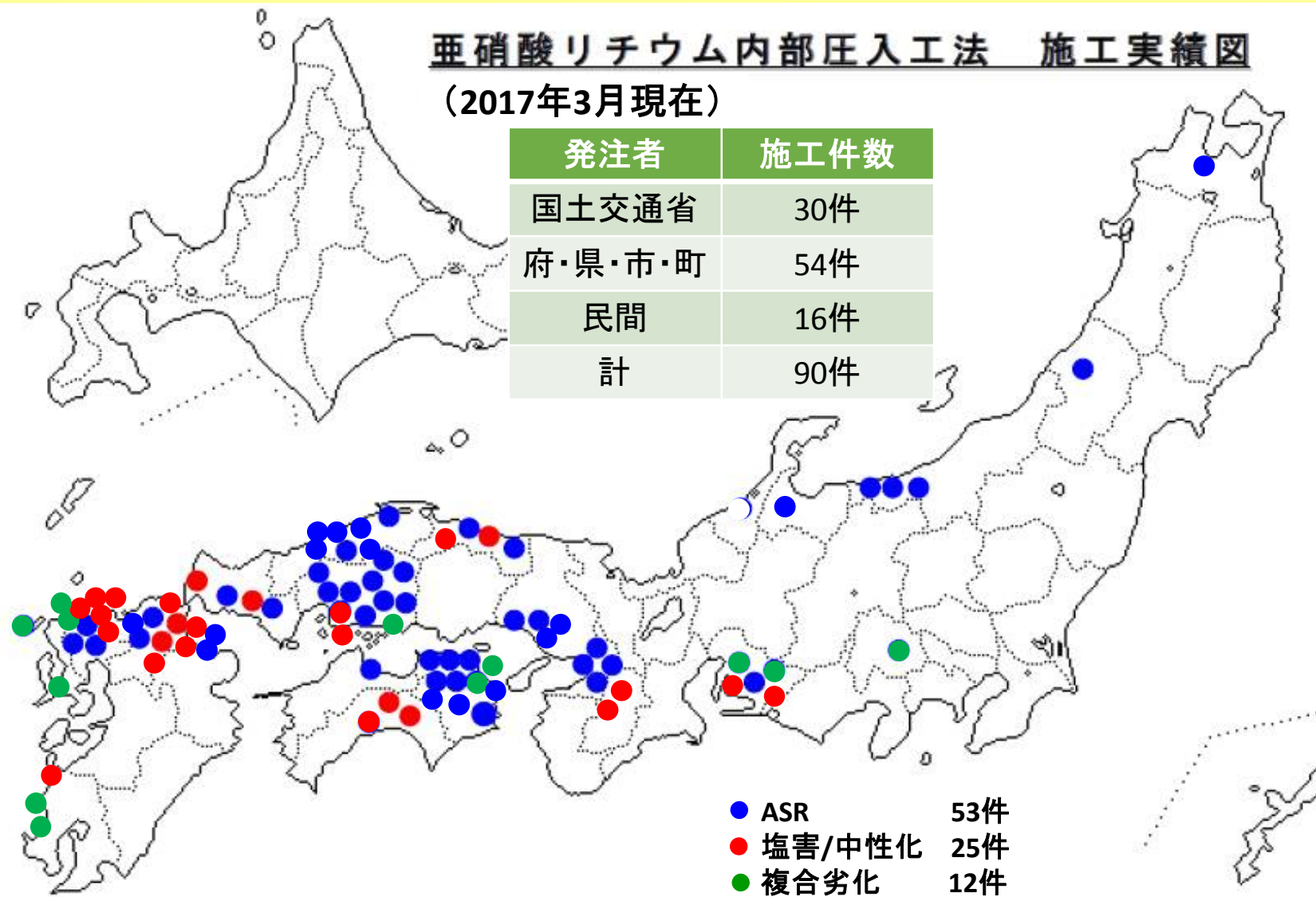
限界圧入量 : 37kg/m³程度
(アルカリ総量11kg/m³相当)

【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】



3. 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

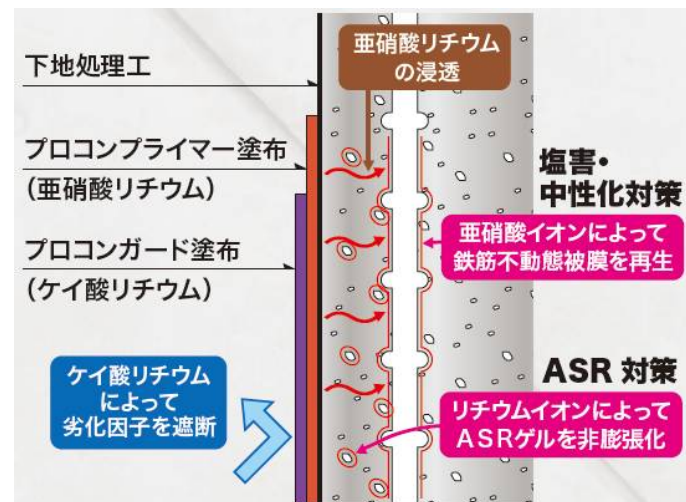
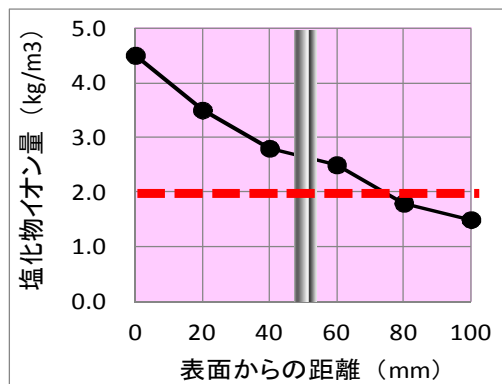
・外観変状は見られないが、既に鉄筋腐食進行の懸念

⇒ 潜伏期を超えており、不働態皮膜は既に破壊されているため、一般的な表面含浸工法では表面下で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』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



【塩害対策として②】 加速期前期の軽微な変状に対する事後保全

・鉄筋腐食進行によってひび割れ、コンクリートの浮きが発生している

⇒ 必要最小限の対策として、以下の補修を行う

ひび割れ箇所：ひび割れ注入工

浮き、剝離箇所：部分断面修復工

部材全体：表面保護工



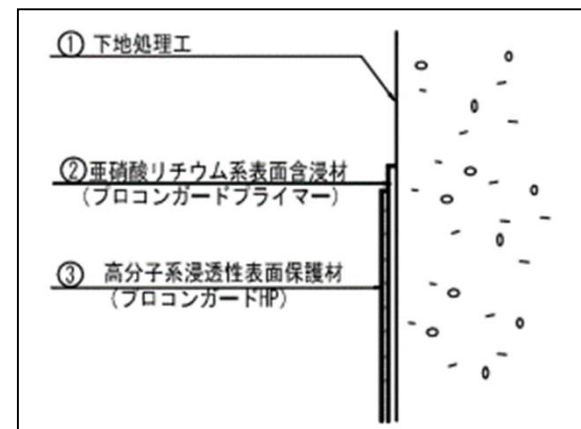
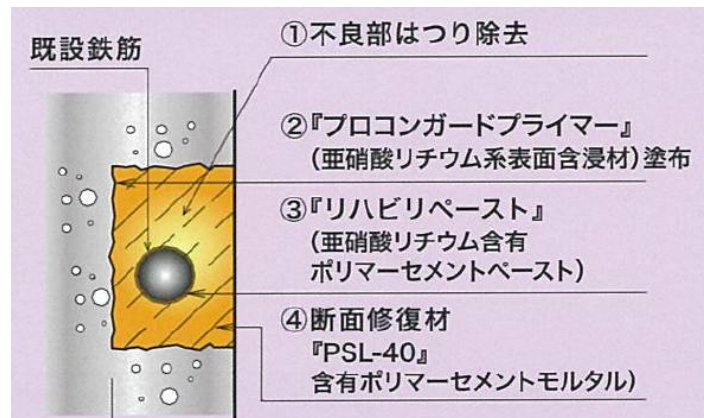
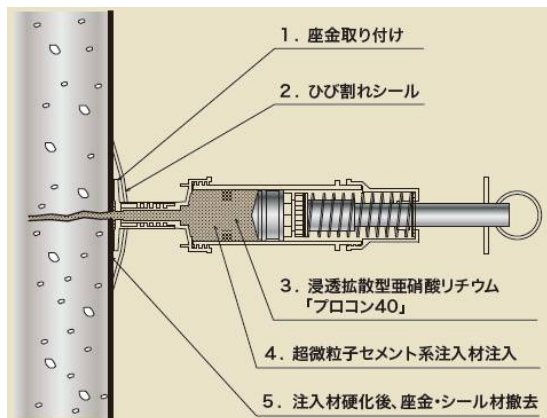
・各種補修工法に亜硝酸リチウムを併用することによって、再劣化までの期間を延ばすことができ、一般工法の組合せよりもLCCで有利となる

⇒ 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：『リハビリシリンダー工法』

浮き、剝離箇所：『リハビリ断面修復工法』

部材全体：『プロコンガードシステムHP仕様』



【塩害対策として③】 加速期後期の重篤な変状に対する事後保全

- ・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】

H26年

鳥取県東部総合事務所
「新橋」



【塩害対策として④】 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⑤】 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

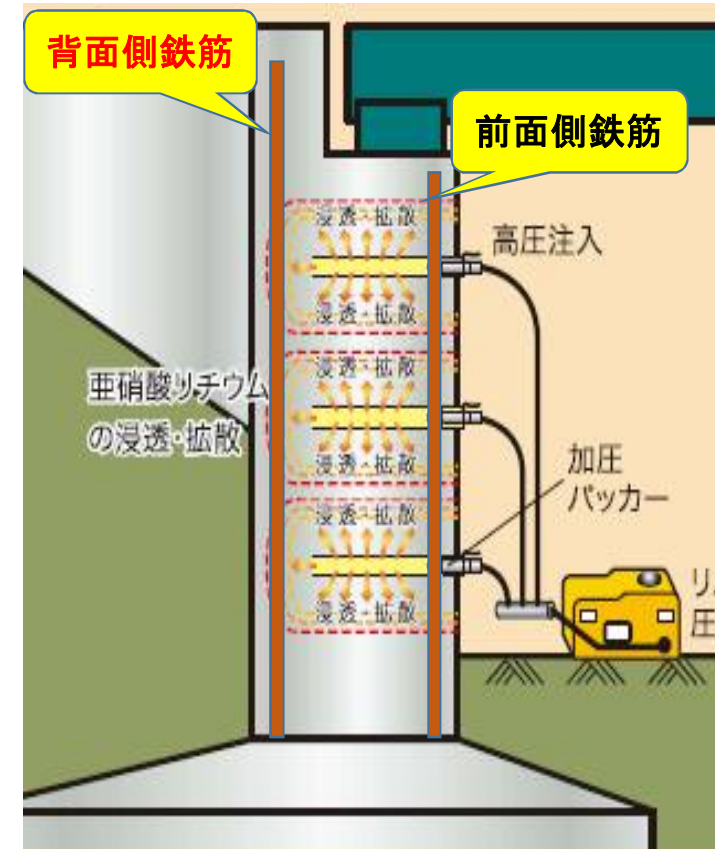


これまで困難だった橋台背面側鉄筋の防錆を掘削なしで実現した事例



【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⑥】 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



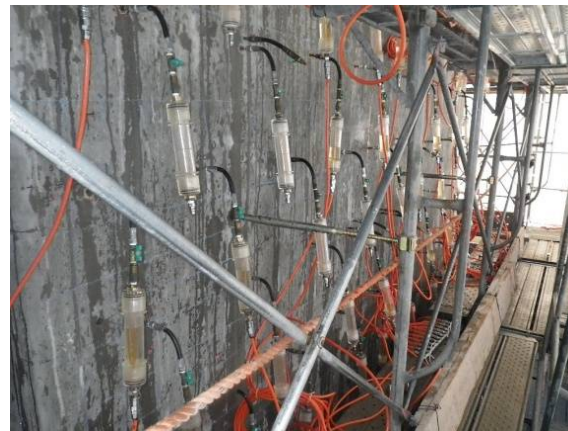
設計思想どおりの耐震性能を保障するための既設鉄筋腐食抑制を図った事例

【施工例】

H27年

国土交通省九州地方整備局

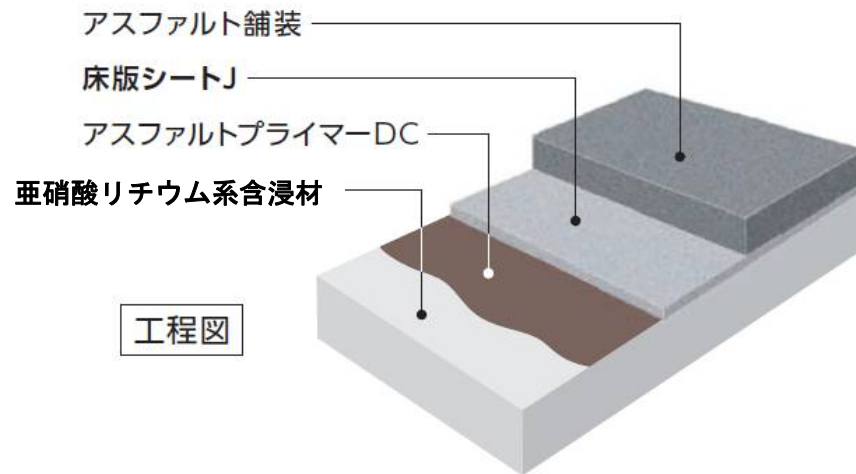
「小浜橋」



【塩害対策として⑥】 橋面防水工の実施に合わせて床版上縁側の鉄筋防錆

- ・床版の耐久性向上のためには橋面防水工が重要
- ・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
 - ⇒ 橋面防水工の施工時には交通規制して舗装を撤去し、床版上面を露出させる
- ・そのタイミングを利用して、橋面防水工の施工直前に床版上縁側の鉄筋防錆
 - ⇒ 亜硝酸リチウム併用型橋面防水工『リハビリ防水工法(仮)』
 - ⇒ 床版上面に亜硝酸リチウム系含浸材を塗布した後に橋面防水工を行う
 - ⇒ 常温粘着性床版防水シートの開発により、亜硝酸リチウム塗布後でも施工可能

亜硝酸リチウムと相性のよい橋面防水工の開発により実用化（2018年秋予定）



【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



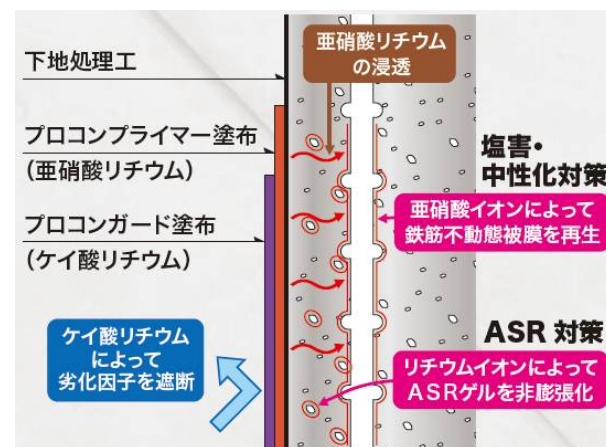
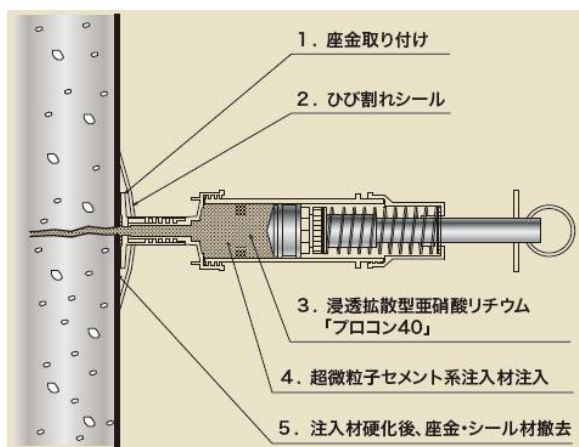
・各種補修工法に亜硝酸リチウムを併用することによって、再劣化までの期間を延ばすことができ、一般工法の組合せよりもLCCで有利となる

⇒ 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：『リハビリシリンダー工法』

部材全体：『プロコンガードシステム』

⇒ 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

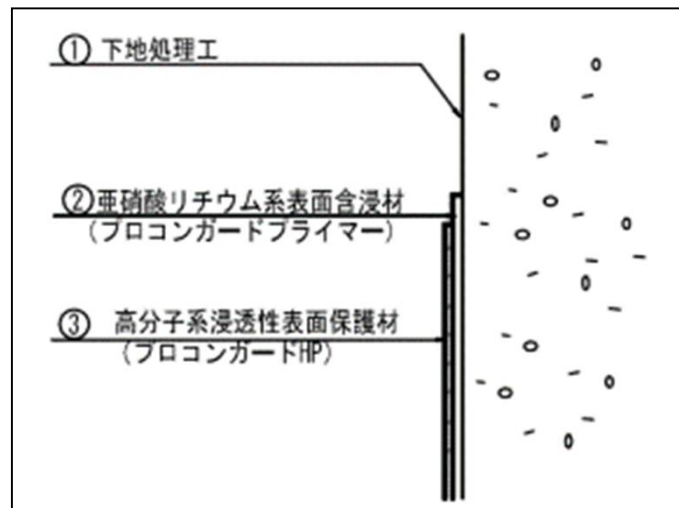
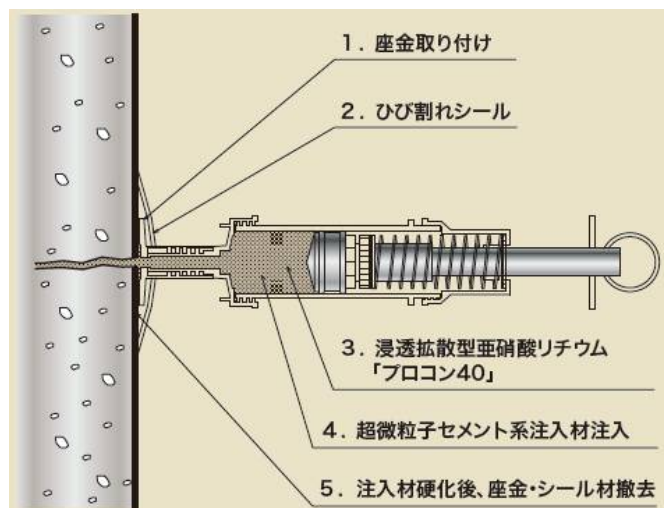


【ASR対策として②】 残存膨張性が有害なプレストレストコンクリート部材

- ・ASR膨張によってプレストレストコンクリート部材にひび割れが発生
 - ⇒ 構造物の重要度を考慮すると亜硝酸リチウム内部圧入工を適用したいところ
 - ⇒ 現時点でPC部材への圧入作業は適用範囲外(適用に向けて検討中)
適用可能な最善策として「ひび割れ注入工」+「表面含浸工」



- ・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：『リハビリシリンダー工法』
 - 部材全体：『プロコンガードシステムHP仕様』



【ASR対策として③】 残存膨張性が有害で再劣化を許容しないRC構造物

・ASR膨張によって著しいひび割れ発生、静弾性係数の低下などが見られる

⇒ これ以上の耐久性能低下を許容できないと判断された場合、ひび割れ注入工や表面保護工などの従来工法では不十分



・部材全体に亜硝酸リチウムを供給することによってASR膨張を根本的に抑制

⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用

全てのアルカリシリカゲルが非膨張化するため、以後のASR膨張は進行しない



再劣化・再補修を繰り返すシナリオか、これ以上再劣化を許容しないシナリオかの2択
重要度、LCC等を考慮して総合的に判断した結果、内部圧入工法が選定された事例

【施工例】

H28、29年
高松市役所
「屋島大橋」



【ASR対策として④】 橋台のASR補修で従来工法と比較検討

・ASRリチウム工法(ゲルの非膨張化)と表面保護工(水分遮断)とを比較検討する

⇒ 表面保護工には背面止水工を併用して、各工法の補修効果のレベルを揃えて検討した例

	表面含浸 + 背面止水	炭素繊維シート接着 + 背面止水	亜硝酸リチウム内部圧入
概念図			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・橋台前面、背面からの止水 ・シランおよび背面止水材 ・ASR膨張を間接的に抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・橋台前面、背面からの止水 ・シート併用表面被覆および背面止水材 ・ASR膨張を間接的に抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート内部のASRゲルを非膨張化 ・亜硝酸リチウム ・ASR膨張の根本的な抑制
工事費	イニシャル 76,000円/m ² LCC 76,000 + 26,000 × 4 = 180,000円/m ²	イニシャル 130,000円/m ² LCC 130,000 + 80,000 × 3 = 370,000円/m ²	イニシャル 150,000円/m ² LCC 150,000円/m ²
評価	<ul style="list-style-type: none"> ・内部の膨張性は高いまま ・水分遮断効果に影響される ・再補修ありきの維持管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・内部の膨張性は高いまま ・水分遮断効果に影響される ・再補修ありきの維持管理 	<ul style="list-style-type: none"> ・膨張性を根本的に抑制 ・再補修は不要 ・LCCで最も安価となる

【ASR対策として⑤】 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(追随性あり)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」



【ASR対策として⑥】 落橋防止構造を設置するコンクリート部材のASR補修

- ・耐震補強として落橋防止構造を設置するコンクリート部材がASRにより劣化していた
 - ⇒ ASR劣化の進行により、コンクリートと鋼材との付着性能低下が懸念される
 - ⇒ ASR膨張性が高い状態を放置したままで落橋防止構造を設置した場合、将来的なASR膨張により落橋防止構造のアンカ一定着部が設計で考慮した耐震性能を満足できなくなる可能性がある。
 - ⇒ 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ASR膨張性を低減した後に落橋防止構造を設置する
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用
 - ⇒ ASR膨張性を消失させたくて追加部材をアンカ一定着する



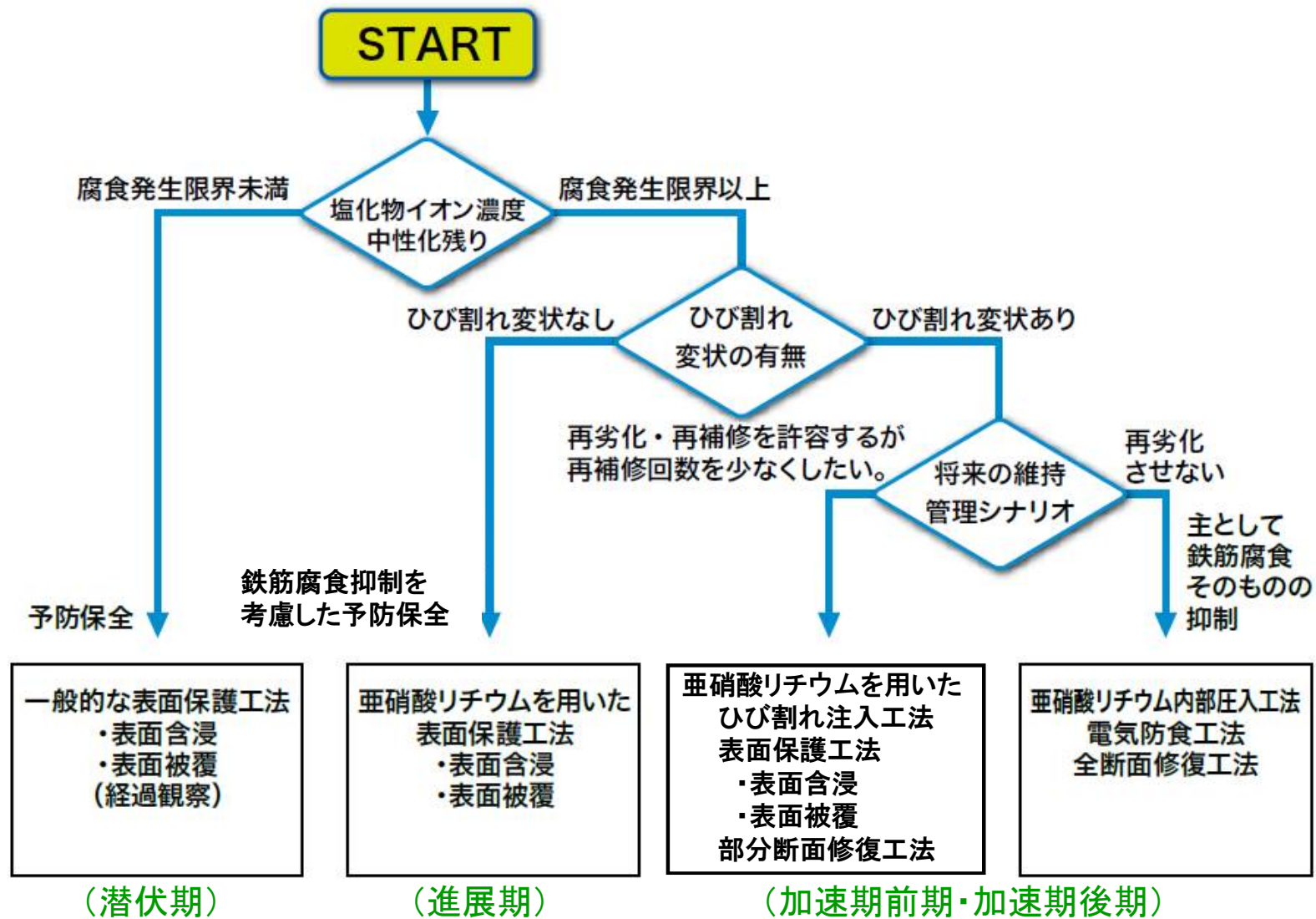
設計思想どおりの耐震性能を保障するためのコンクリート健全性を確保した事例



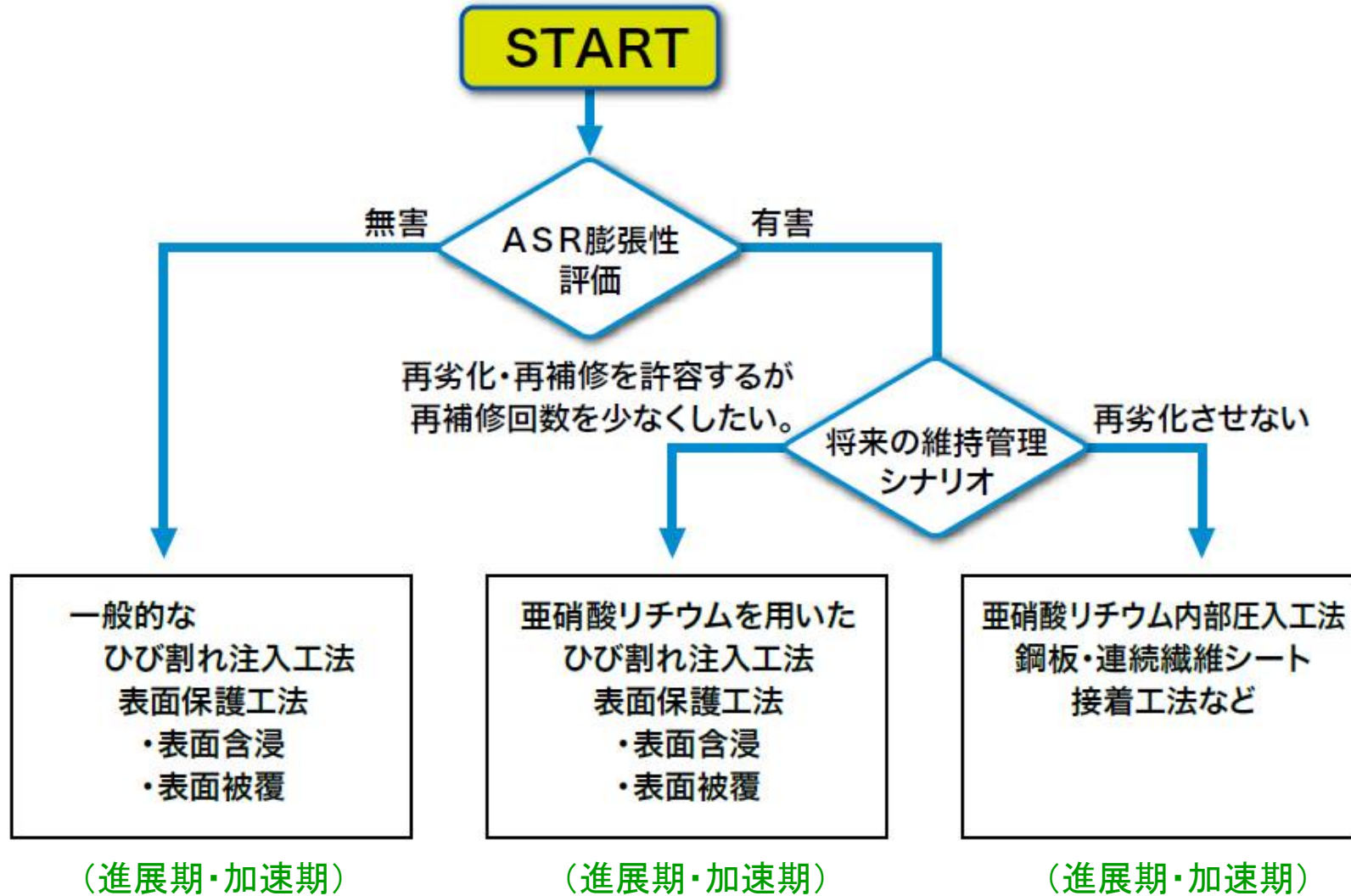
【施工例】
H24年
愛媛県東予地方局建設部
「一ツ橋」

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・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】



【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