

# 亜硝酸リチウムを用いた 塩害、中性化、ASRの補修技術について

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

技術委員長 江良和徳

# 亜硝酸リチウムを用いた 塩害、中性化、ASRの補修技術について

## 1. はじめに

## 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』
- 表面被覆工法 『リハビリ被覆工法』
- 断面修復工法 『リハビリ断面修復工法』
- 内部圧入工法 『ASRリチウム工法』
- 内部圧入工法 『リハビリカプセル工法』

## 3. 補修効果の検証と追跡調査

- 研究成果事例
- 施工後の残存膨張量試験結果
- 施工後の外観目視調査結果

## 4. おわりに

# 1. はじめに

# 亜硝酸リチウムとは



亜硝酸リチウム40%水溶液

## 亜硝酸リチウム

【Lithium Nitrite ;  $\text{LiNO}_2$ 】

- ・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)



亜硝酸イオン  
 $\text{NO}_2^-$

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  
 $\text{Li}^+$

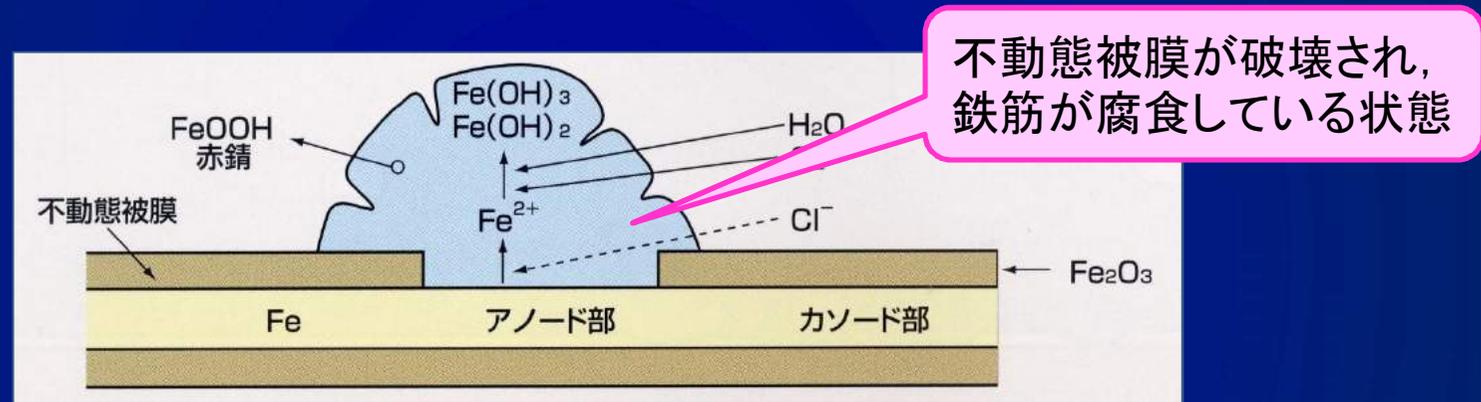
アルカリシリカゲルを  
非膨張化する



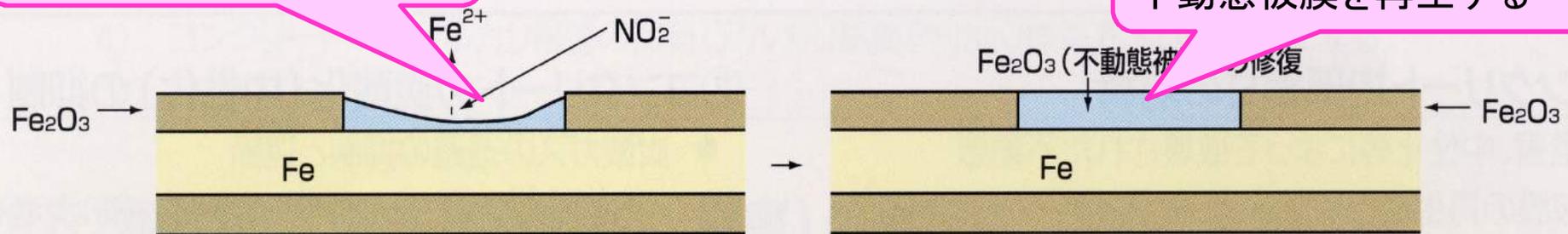
『ASR対策』

# 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制 ⇒ 不動態被膜再生

- ・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, 共に鉄筋腐食を抑制すること
- ・亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告
- ・酸化剤として鉄筋表面に作用し、主としてアノード反応を抑制

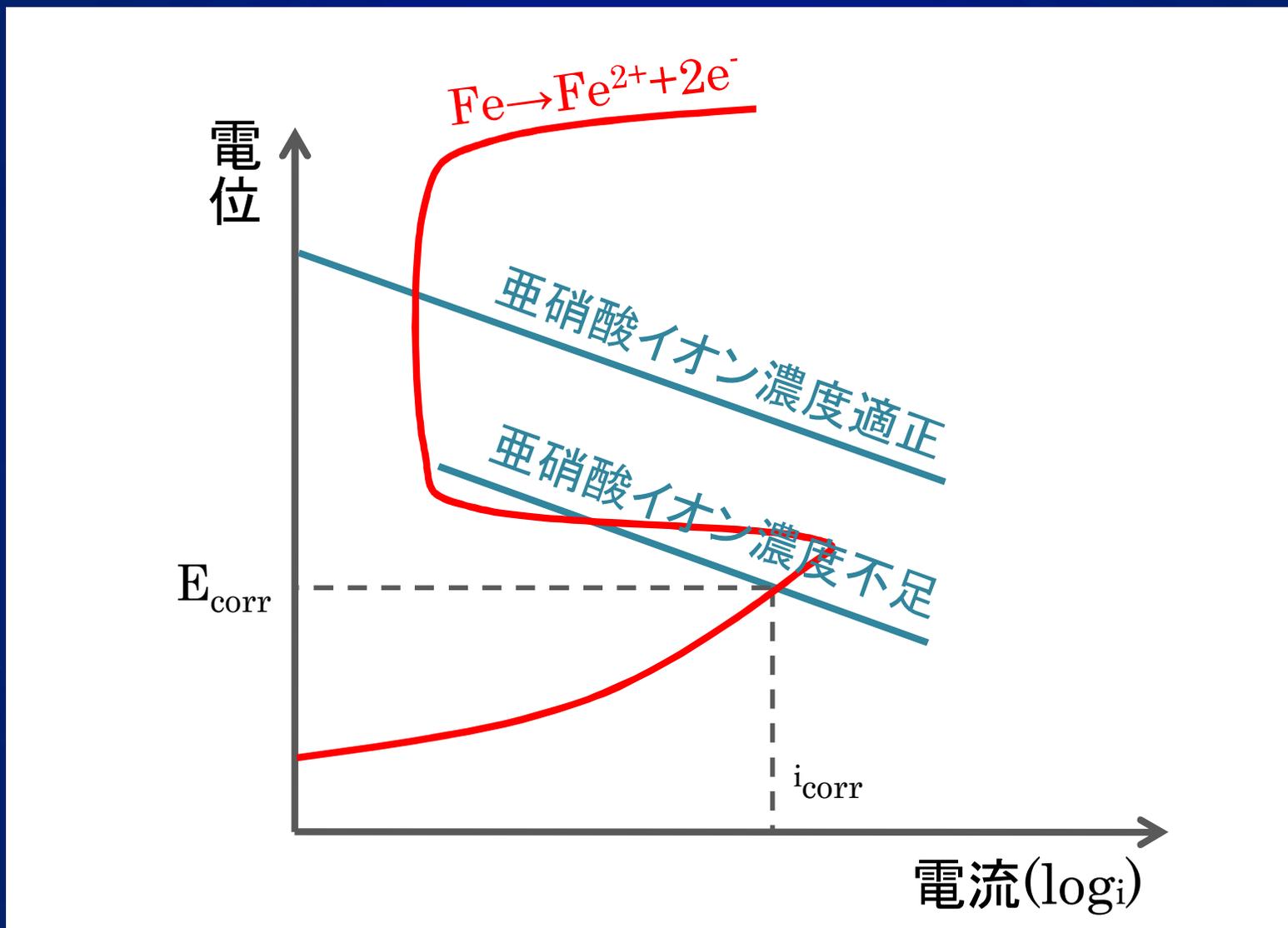


鉄筋周囲に亜硝酸イオン ( $\text{NO}_2^-$ ) が供給されると...



亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )による不動態被膜再生メカニズム

# 亜硝酸イオンによる腐食抑制メカニズム解説の例



分極曲線

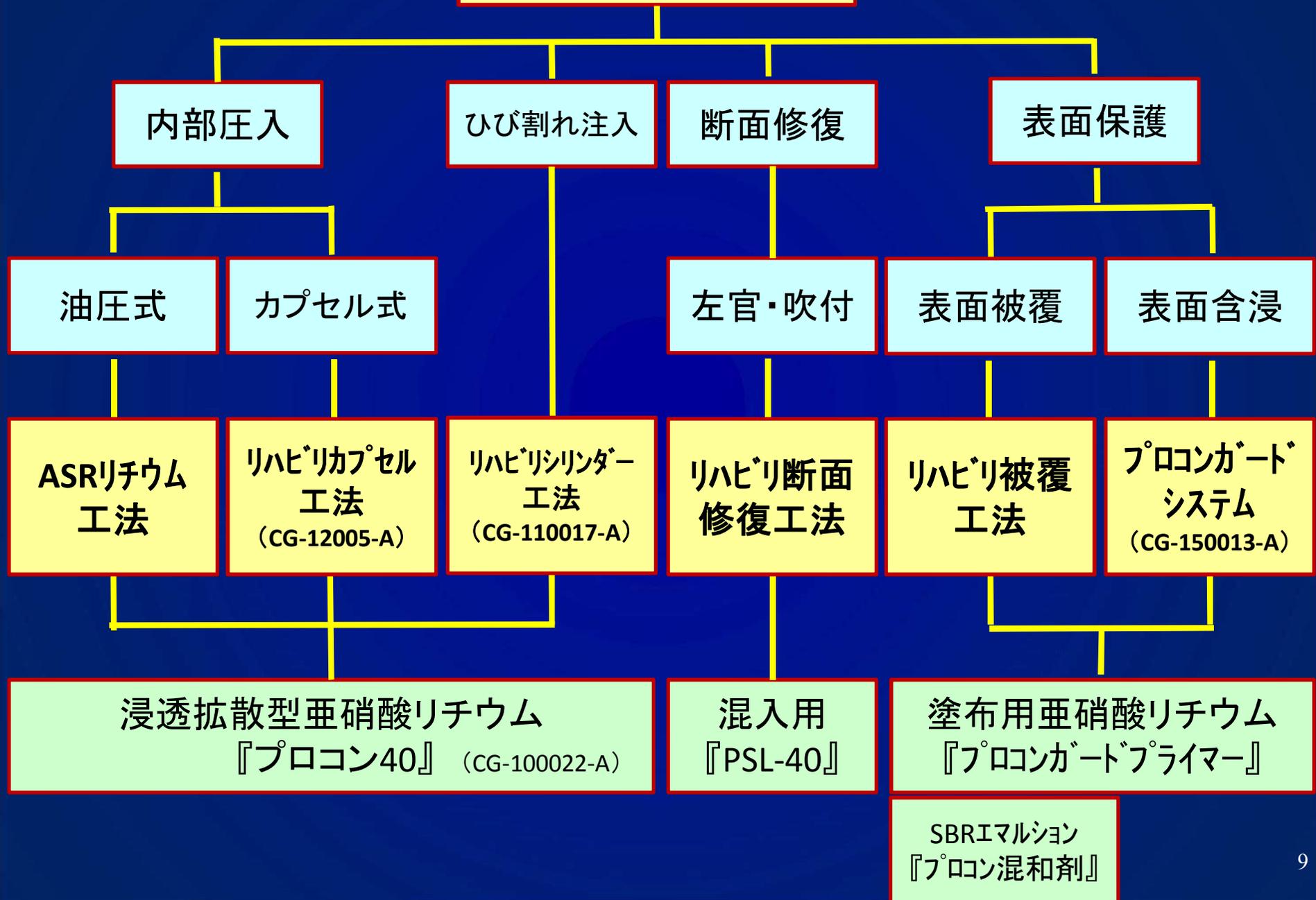
# リチウムイオンによるASR抑制効果 ⇒ ゲル非膨張化

- ・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<sup>+</sup>)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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$ <p>(アルカリシリカゲル) (水)</p> $\rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ <p>(吸水膨張!)</p>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ <p>NaとLiとのイオン交換</p> $\text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

リチウムイオン(Li<sup>+</sup>)によるアルカリシリカゲルの非膨張化

# リハビリ工法



## 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-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-110017-A

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器!**  
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隙間なび割れにも浸透し、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潤滑状態が長期保持され、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。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。

**施工事例**



リハビリシリンダー設置状況



完全封鎖状況



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

**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のひび割れ注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』  
NETIS:CG-10002-A

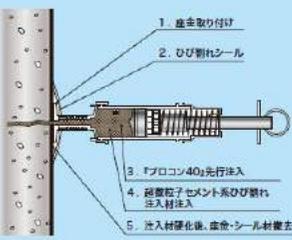
注 入 圧 力: 0.1MPa~0.2MPa程度  
ひび割れ幅: 0.2mm~10.0mm程度

**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水注入します。
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。

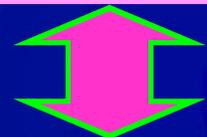
**工法概念図**

ひび割れ注入工



## 【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侵入抑制



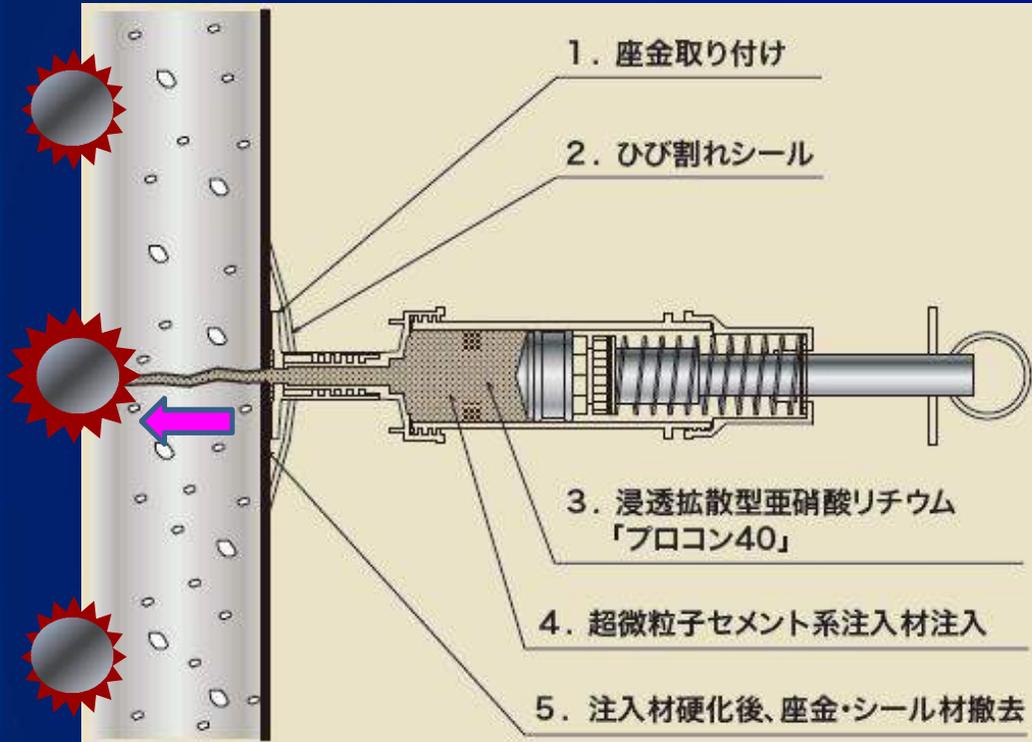
## 【リハビリシリンダー工法】

- 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ASR膨張抑制（ASR）

# 【リハビリシリンダー工法】 塩害・中性化に対して

『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与



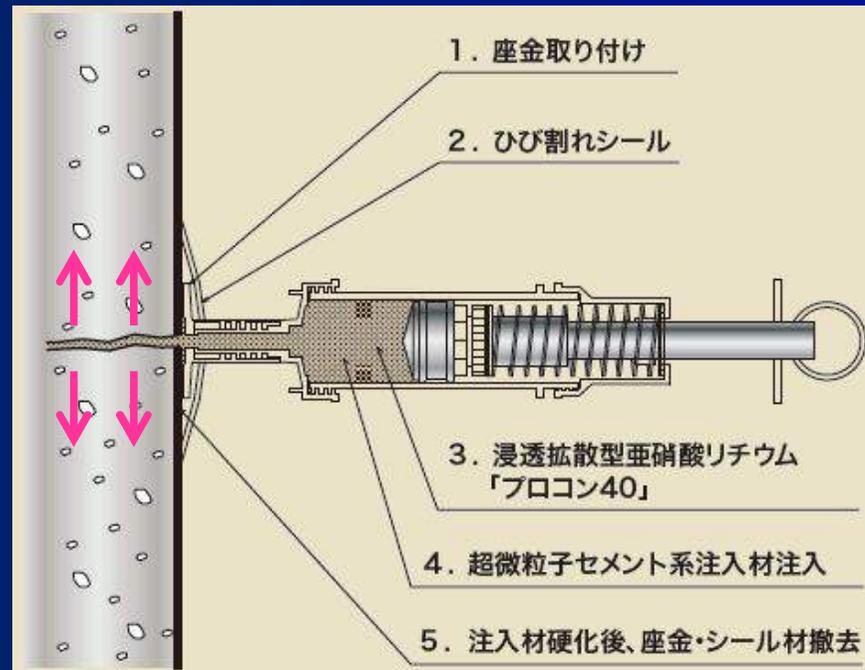
- ① 自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ② 亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③ 超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

優位性 : ひび割れを通じて鉄筋に亜硝酸イオンを供給する

## 【リハビリシリンダー工法】 ASRに対して

『ひび割れ注入材による劣化因子(水分)の遮断』

プラスアルファとして『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

優位性 : ひび割れ周辺のコンクリートにリチウムイオンを供給する

## 【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
- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム『プロコン40』(NETIS:CG-100022-A)を使用

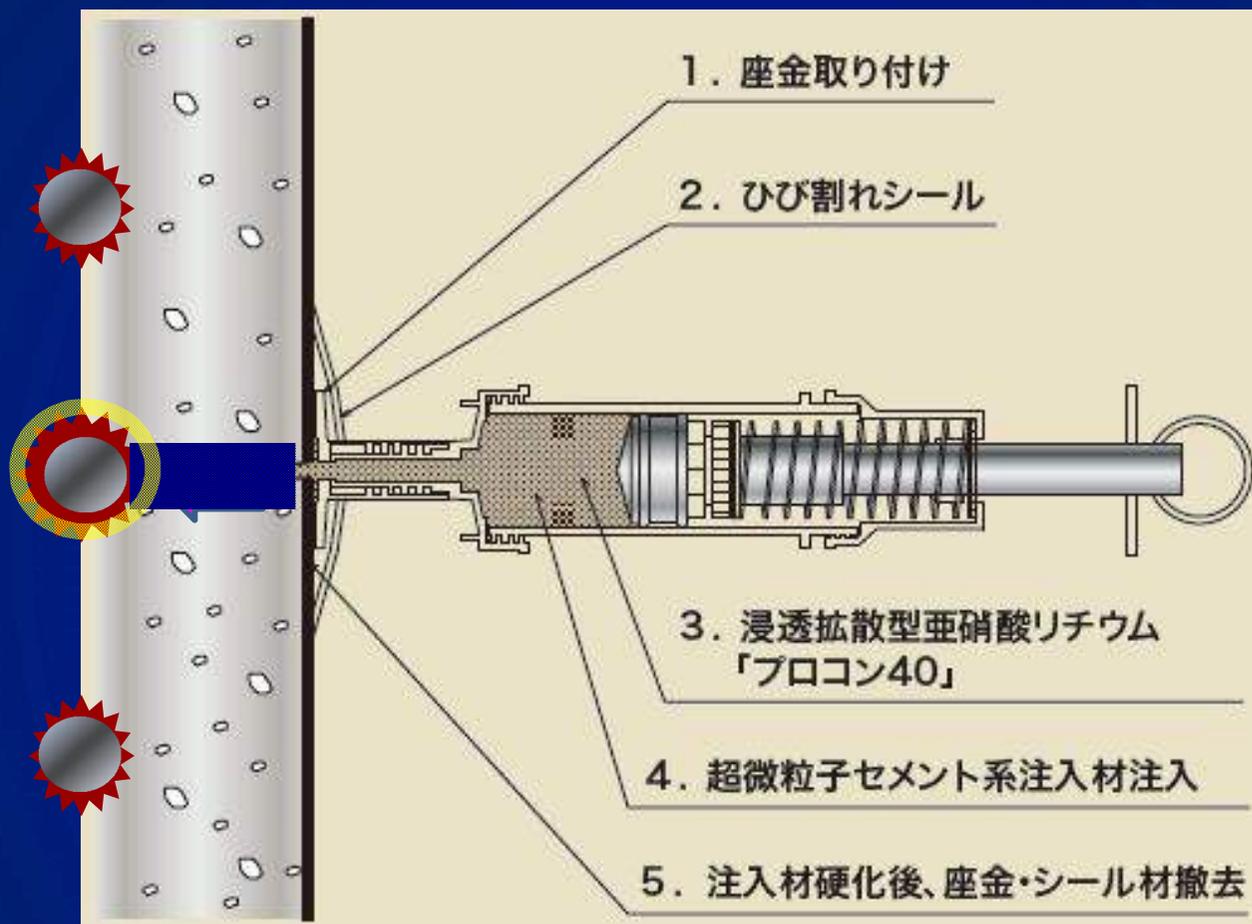
## 【リハビリシリンダー工法のデメリット】

- ・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~30.0mm
- ・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

## 【浸透拡散型亜硝酸リチウム(先行注入)の供給範囲イメージ】



- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置
- ②浸透拡散型亜硝酸リチウムを先行注入 ⇒ 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

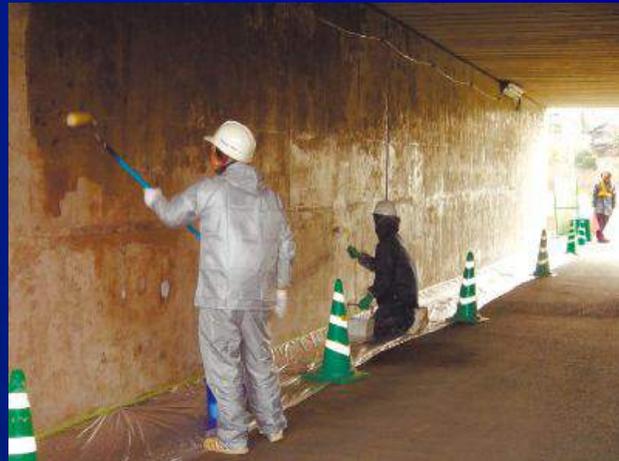
## 【リハビリシリンダー工法の積算】

### 概算工事費の例

ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ深さ (mm)	延長 (m)	施工費 (円)	施工費 (円/m)
0.2～1.0	100	100	1,100,000	11,000
1.0～2.0	200	100	1,400,000	14,000
2.0～5.0	300	100	2,300,000	23,000

- ・施工規模はひび割れ延長100m以上を想定
- ・コンクリートメンテナンス協会標準歩掛による材工の直接工事費
- ・労務費はH28年度広島県単価

# 2. 2 表面含浸工法 『プロコンガードシステム』



NETIS:CG-150013-A

REHABILITATION  
プロコンガード  
リハビリ工法

## 亜硝酸リチウム系表面含浸工法 プロコンガードシステム

**特徴**

- 遮水性が高い。
- 透水性が高い。
- コンクリート表面の性状をかえない。
- 高い安全性。
- 施工性が良く、簡単。
- 塩害・中性化対策として：劣化因子（塩化物イオン・二酸化炭素）の侵入抑制効果に加えて、劣化因子が発錆限界を超えて発錆雰囲気（鉄筋コンクリート）に対し、亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果が期待できる。
- ASR対策として：劣化因子（水分）の侵入抑制に加えて、リチウムイオンによるASR膨張抑制効果が期待できる。

**プロコンガードシステムとは**

- プロコンガードシステムとは、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、ケイ酸リチウムを主成分とする含浸材「プロコンガード」の二つを組み合わせた表面含浸工法です。
- 従来の含浸工法は、劣化因子の侵入抑制はできませんが、塩害・中性化の場合、劣化因子が鉄筋腐食限界を超えている場合の対策効果は期待できません。また、ASRの場合、ゲルの膨張そのものを抑制する効果は期待できません。
- 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「プロコンガードプライマー」が鉄筋の防錆効果（塩害・中性化の場合）、及びASRゲルの膨張抑制効果（ASR対策の場合）を付与し、ケイ酸リチウム系含浸材「プロコンガード」が更なる劣化因子の侵入を抑制します。

**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)

プロコンガード塗布  
(ケイ酸リチウム系表面含浸材)

ケイ酸によって劣化因子を遮断

亜硝酸リチウムの浸透

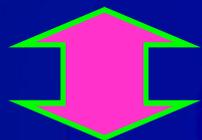
塩害・中性化対策  
亜硝酸イオンによって鉄筋不動態状態を再生

ASR対策  
リチウムイオンによってASRゲルを非膨張化

JSCE-K571-2004「表面含浸材試験方法(案)」による透水係数試験の結果

## 【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



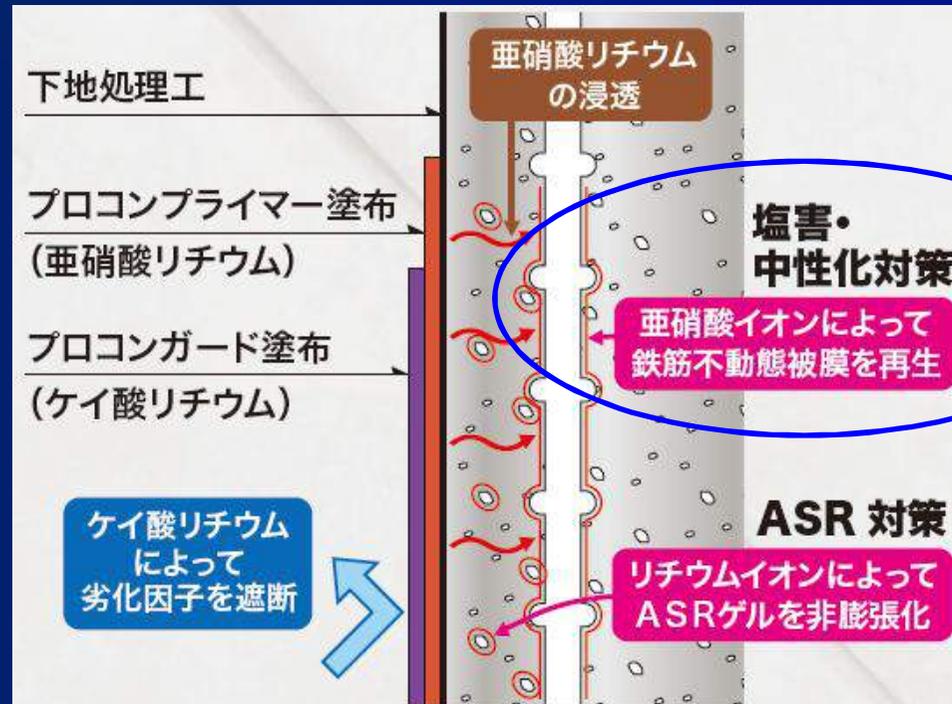
## 【プロコンガードシステム】

- 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ASR膨張抑制（ASR）

# 【プロコンガードシステム】 塩害・中性化に対して

『表面含浸材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与



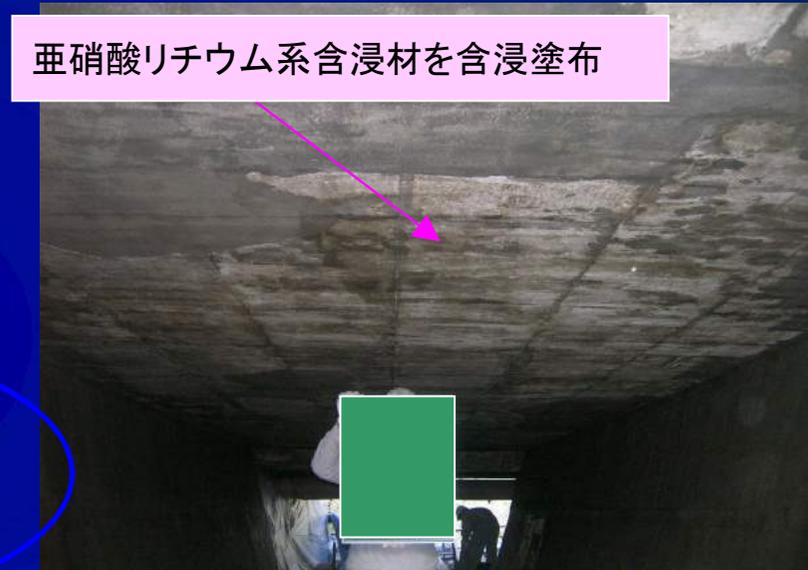
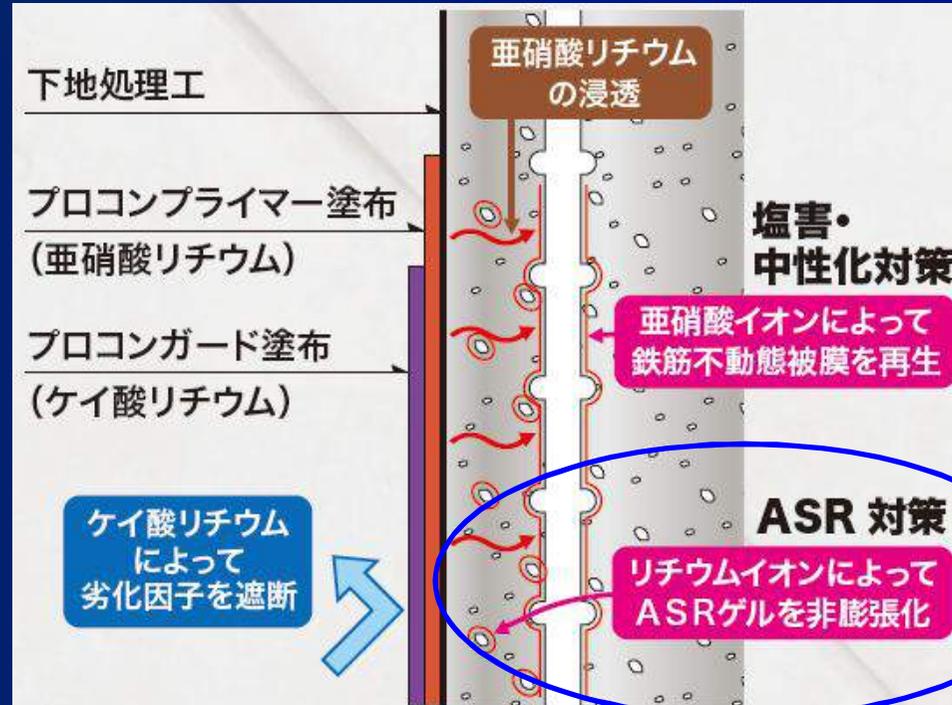
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③劣化因子の侵入を抑制するために、けい酸リチウム系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

優位性 : コンクリート表面から鉄筋に向けて亜硝酸イオンを浸透させる

# 【プロコンガードシステム】 ASRに対して

『表面含浸材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『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**

優位性 : コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

## 【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
- ・亜硝酸リチウムと固化型けい酸塩系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。

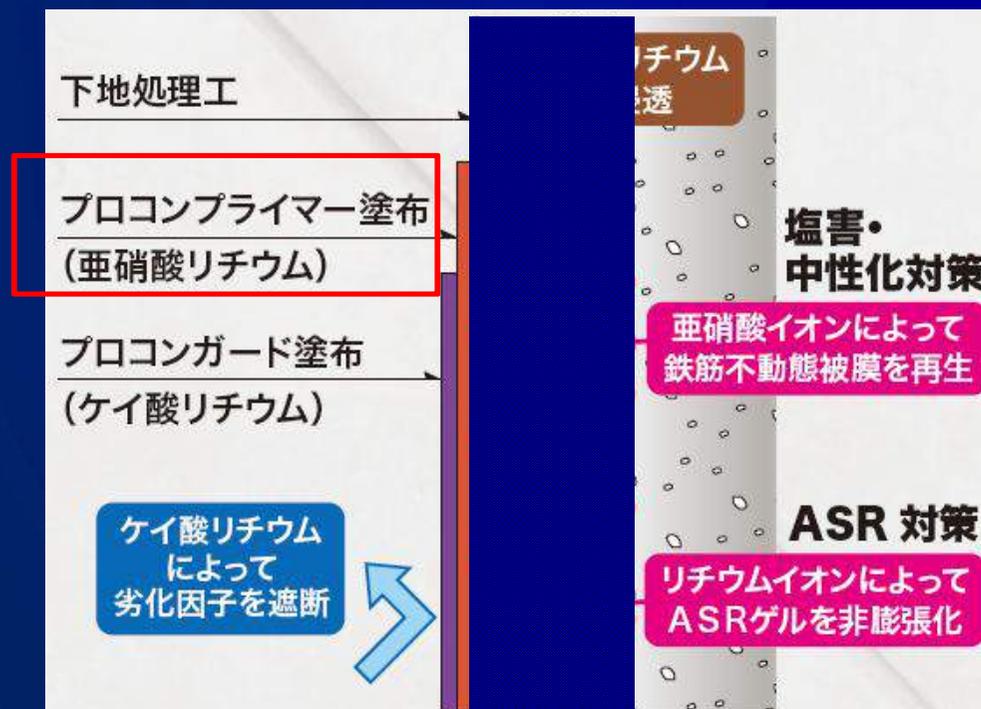
## 【参考】 プロコンガードシステム施工後の白化現象の例



## 【塩化物イオン濃度に応じた亜硝酸リチウム系含浸材の塗布量】

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  
(鉄筋かぶりを目安として)

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<sub>2</sub><sup>-</sup>] / [Cl<sup>-</sup>] 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<sup>2</sup>

~

限界塗布量 : 0.6kg/m<sup>2</sup> 程度

## 【塩化物イオン濃度に応じた亜硝酸リチウム系含浸材塗布量の算定】

### 例① 目標含浸深さ30mmの場合

塩化物イオン 濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	2.7	3.0	4.0	5.0	5.4
亜硝酸リチウム系 含浸材の塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	0.30	0.34	0.45	0.56	0.60

### 例② 目標含浸深さ50mmの場合

塩化物イオン 濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.6	2.0	3.0	3.2
亜硝酸リチウム系 含浸材の塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	0.30	0.37	0.56	0.60

## 【プロコンガードシステムの積算】

### 概算工事費の例

仕様	亜硝酸リチウム系 含浸材 「プロコンガードプライマー」 塗布量(kg/m <sup>2</sup> )	けい酸リチウム系 含浸材 「プロコンガード」 塗布量(kg/m <sup>2</sup> )	施工 面積 (m <sup>2</sup> )	施工費 (円)	施工費 (円/m <sup>2</sup> )
標準	0.3	0.1	100	490,000	4,900
限界	0.6	0.1	100	600,000	6,000

- ・施工規模は塗布面積100m<sup>2</sup>以上を想定
- ・コンクリートメンテナンス協会標準歩掛による材工の直接工事費
- ・労務費はH28年度広島県単価

# 2. 3 表面被覆工法 『リハビリ被覆工法』



REHABILI  
プロコン混和剤  
リハビリ工法

表面被覆用亜硝酸リチウムSBRエマルジョン  
『プロコン混和剤』を用いた『リハビリペースト』『モルタル』  
による塩害・中性化・ASR補修技術

## リハビリ被覆工法

**【特徴】**  
亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタルによる劣化因子の遮断！  
リハビリ被覆工法のリハビリ被覆材には、『リハビリペースト』『モルタル』（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタル）を使用します。『リハビリペースト』『モルタル』は付着性に優れているため、母材コンクリートとの一体性を確保することができます。また、組織が緻密であるため、劣化因子（水分、腐食性イオン、酸素、二酸化炭素など）の侵入を防ぐことができます。

**亜硝酸リチウムによる塩害・中性化・ASR抑制効果の付与！**  
従来の表面被覆工法は、コンクリート表面から侵入してくる劣化因子を遮断することです。しかし、ポリマーセメントペースト系表面被覆材と亜硝酸リチウムを組み合わせることにより、表面被覆工本来の劣化因子遮断効果に加えて亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果及びASR膨張抑制効果をコンクリート表面部に付与することができます。そのため、特に塩害、中性化、ASRの補修対策として適しています。

**目的に応じた上塗りを選択により、耐久性の向上！**  
補修目的に応じて、アクリルゴム、ポリマー系塗膜、高分子系浸透性防水材料等を使い分けることにより、構造物の耐久性を向上させることができます。

**【施工仕様】**  
補修方法：左官工法・ローラーによる塗布  
被覆材：『リハビリペースト』『モルタル』（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタル（プロコン混和剤混入））  
防錆剤：『プロコンガードプライマー』（亜硝酸リチウム系亜硫酸系塗料）

**【施工手順】標準仕様**  
1.施工面を養生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.コンクリート表面全体に『プロコンガードプライマー』を塗布します。（標準塗布量0.3kg/m<sup>2</sup>、毎分量によって塗布量を調整する。）  
3.コンクリート表面全体に『リハビリペースト』『モルタル』をコブまたはローラー、刷毛で塗布します。  
4.高分子系浸透性防水材料等を用いて上塗りを行い、『リハビリペースト』『モルタル』を保護します。

① 亜硝酸リチウム塗布

●下地処理完了後、コンクリート表面全体に亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタルを塗布する。

② リハビリ被覆材（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタル）塗布

●亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタルをコンクリート表面全体に塗布する。

③ 上塗り

●目的に応じた浸透性防水材料などを用いて上塗りを行い、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタルを保護する。

④ 工事完了

●目的に応じた浸透性防水材料などを用いて上塗りを行い、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタルを保護する。

**施工概念図**

①下地処理（高圧水洗クレン）  
②『プロコンガードプライマー』（亜硝酸リチウム系亜硫酸系塗料）塗布  
③『リハビリペースト』『モルタル』（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト・モルタル）  
④高分子系浸透性防水材料など

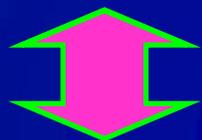
**リハビリペースト・リハビリモルタル試験成績**

項目	材料	リハビリペースト	リハビリモルタル	備考	
硬化体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1日	2.0	2.0	4×4×16cmの試体各3個で25℃で測定	
	7日	9.5	15.6		
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	7日	23.7	30.9		JIS A 1171:2000 準拠
	28日	31.5	38.8		
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1日	2.8	4.6	試験条件：標準配合、20℃±2℃で試験実施	
	7日	5.9	8.1		
付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	7日	7.2	9.5		試験条件：標準配合、20℃±2℃で試験実施
	28日	2.1	2.2		
硬化収縮率 (%)		-0.02	-0.02		

必要塗布量	方法	面積	厚み	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	配合比	配合比	配合比	配合比	配合比	配合比
リハビリペースト（標準仕様用）	ローラー	1m <sup>2</sup>	2	100	135	20	100	135	20	100	135
リハビリペースト（標準仕様用）	ローラー	1m <sup>2</sup>	2	100	130	20	100	130	20	100	130
リハビリペースト（標準仕様用）	ローラー	1m <sup>2</sup>	2	100	120	20	100	120	20	100	120
リハビリペースト（標準仕様用）	ローラー	1m <sup>2</sup>	2	100	120	20	100	120	20	100	120

## 【一般的な表面被覆工法】

- 種類
- ・有機系（エポキシ樹脂、アクリル樹脂、ウレタン樹脂など）
  - ・無機系（ポリマーセメントモルタル系） など
- 目的
- ・コンクリート表面からの劣化因子の侵入抑制
  - ・美観性向上



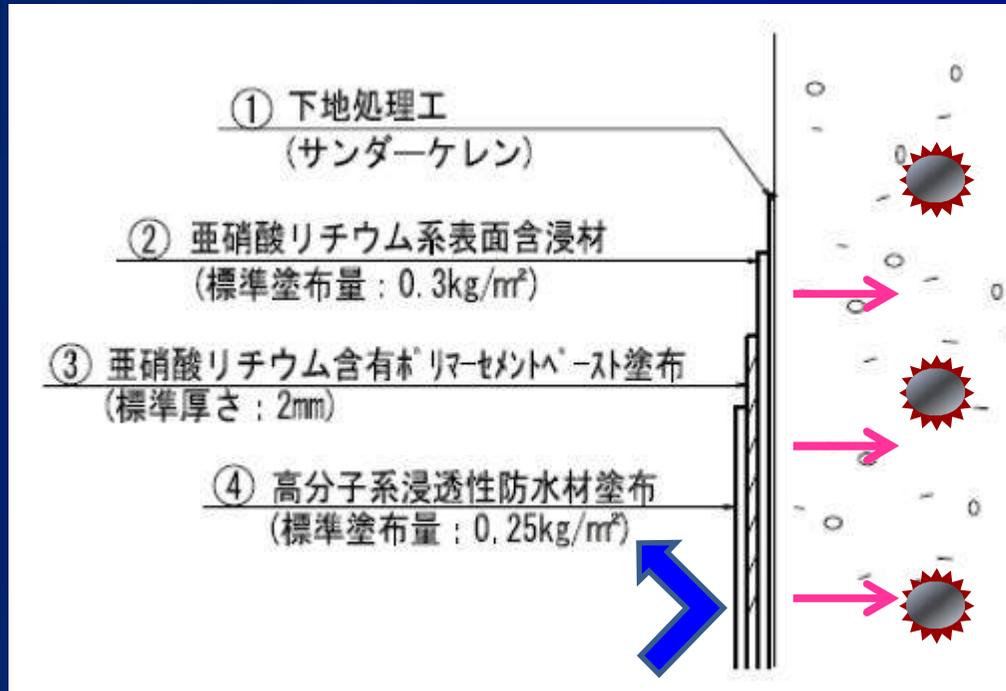
## 【リハビリ被覆工法】

- 種類
- ・亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト  
＋高分子系浸透性防水材（例）
- 目的
- ・コンクリート表面からの劣化因子の侵入抑制
  - ・美観性向上
  - ・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ASR膨張抑制（ASR）

## 【リハビリ被覆工法】 塩害・中性化に対して

『表面被覆材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与



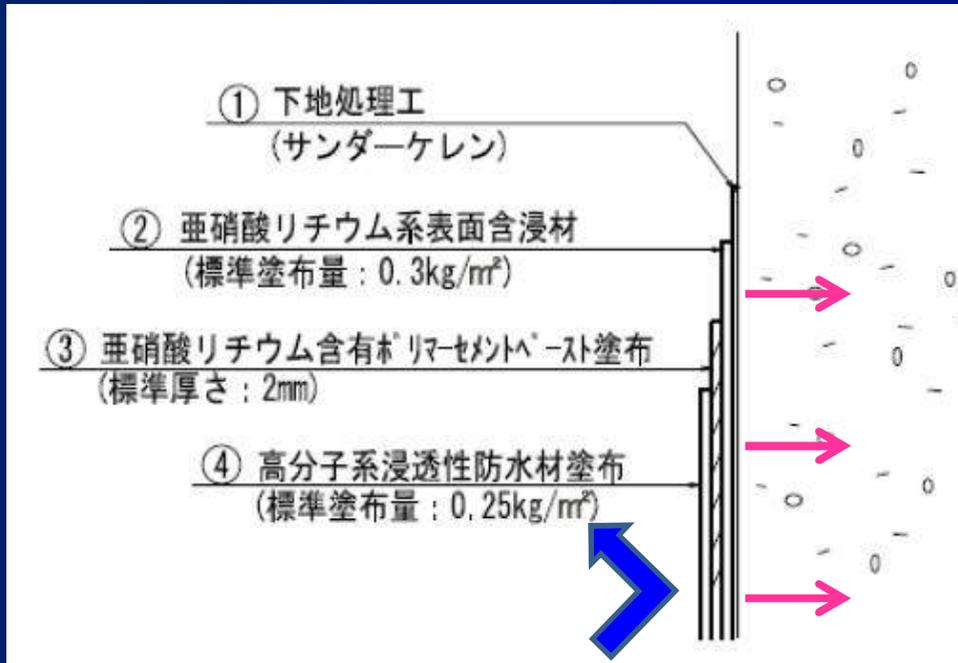
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にて  
コンクリート表面をコーティングする ⇒ 鉄筋防錆、劣化因子の遮断
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

コンクリート表面から鉄筋に向けて亜硝酸イオンを浸透させる

## 【リハビリ被覆工法】 ASRに対して

『表面被覆材による劣化因子(水分)の遮断』

プラスアルファとして『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亜硝酸リチウムを含有したポリアセメントモルタル系表面被覆材にて  
コンクリート表面をコーティングする ⇒ **ゲルの非膨張化、劣化因子の遮断**

④被覆層の保護のために、上塗りを行う

コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

## 【リハビリ被覆工法のメリット】

- ・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

## 【リハビリ被覆工法のデメリット】

- ・無機系であるため、ひび割れ追従性はない

## 【リハビリ被覆工法の適用限界】

- ・**主たる目的**はあくまで「劣化因子の侵入抑制」
- ・亜硝酸リチウムによる**プラスアルファの効果の限界**
- ・亜硝酸リチウムの含浸深さ(=亜硝酸リチウムの効果)は表層の数10mm程度の範囲に限定される。
- ・亜硝酸リチウムの物理的な塗布可能量には限界がある。
- ・一般的な表面被覆工法と同様に、コンクリート表面を覆うため、以後のモニタリング性は低下する。

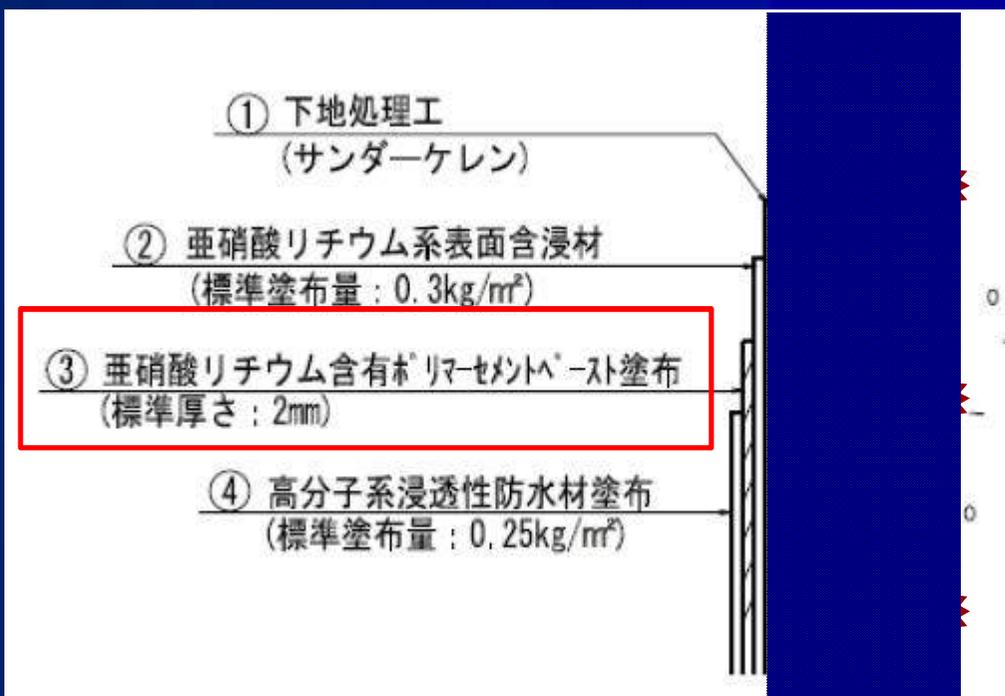
## 【塩化物イオン濃度に応じた

## 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの塗布厚さ】

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  
(鉄筋かぶりを目安として)

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<sub>2</sub><sup>-</sup>] / [Cl<sup>-</sup>] 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】

標準塗布厚さ : t=2mm

~

限界塗布厚さ : t=5mm程度

# 【塩化物イオン濃度に応じた 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの塗布厚さ】

## 例① 目標含浸深さ50mmの場合

塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	3.6	4.0	5.0	6.0	6.5
亜硝酸リチウム含有ペースト塗布厚さ (mm)	2	3	4	5	5

## 例② 目標含浸深さ70mmの場合

塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	2.5	3.0	4.0	4.7
亜硝酸リチウム含有ペースト塗布厚さ (mm)	2	4	5	5

# 【リハビリ被覆工法の積算】

## 概算工事費の例

仕様(標準)		塗布量	施工面積(m <sup>2</sup> )	施工費(円)	施工費(円/m <sup>2</sup> )
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』	0.3kg/m <sup>2</sup>	100	1,050,000	10,500
2層目	亜硝酸リチウム含有 ポリマーセメントペースト 『RVペースト』	4.0kg/m <sup>2</sup> (t=2mm)			
3層目	高分子系浸透性防水材 『アイゾールEX』	0.25kg/m <sup>2</sup>			

- ・施工規模は塗布面積100m<sup>2</sup>以上を想定
- ・コンクリートメンテナンス協会標準歩掛による材工の直接工事費
- ・労務費はH28年度広島県単価

# 2.4 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。亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルに適合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、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。断続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は、劣化したコンクリートをハツ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、鉄筋周囲の亜硝酸リチウムによる防錆雰囲気を持続させ、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塗布材)「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)

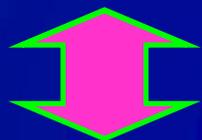
【施工手順】  
1. コンクリートの脆弱な範囲を電動ピック等でハツリ取ります。  
2. 露出した鉄筋の表面をアススカーパー等によりケレンし、入念に錆を落とします。  
3. はつり面に「プロコンガードプライマー」を塗布する。  
4. 鉄筋防錆材として「リハビリペースト」を鉄筋表面に塗布します。  
5. 「PSL-40」含有ポリマーセメントモルタルを用いて、左官工法にて断面修復します。(配合量によって適合量を調整する。)

物 性 例				
試験項目	材 質	亜硝酸リチウム 20kg/m <sup>3</sup> 配合	亜硝酸リチウム 55kg/m <sup>3</sup> 配合	備 考
圧縮強度 (N/m <sup>2</sup> )	1日	21.4	20.3	40x40x160mm 試験体
	7日	47.2	42.6	
	28日	60.3	57.2	
曲げ強度 (N/m <sup>2</sup> )	1日	4.7	4.7	40x40x160mm 試験体
	7日	8.5	8.3	
	28日	9.4	9.3	
長さ変化率 (x10 <sup>-4</sup> )	28日	-4.3	-4.7	40x40x160mm 試験体20℃,60%RH
	28日	0	0	
	28日	0	0	
※試験前であり、保証値ではありません。 ※リハビリペーストSP「PSL-40」を投入した試験体です。				



## 【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



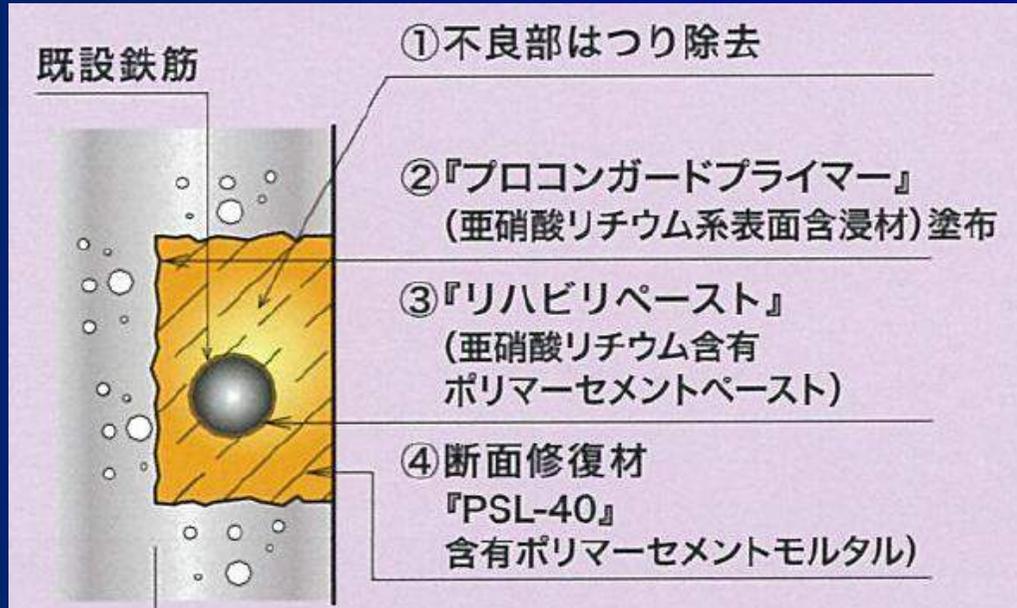
## 【リハビリ断面修復工法】

- 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

## 【断面修復工法】

『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

『コンクリート劣化部の除去』およびそれに伴う『内部の塩化物イオンの除去』



- 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

はつりだした鉄筋に直接亜硝酸イオンを供給する

## 【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限界】

- ・一般的な断面修復工法と同様に、**補修効果は断面修復した範囲に限定**される。(あたりまえですが。)
- ・劣化原因が塩害や中性化の場合、浮きはく離範囲(=断面修復範囲)**以外**でも鉄筋腐食は進行している。

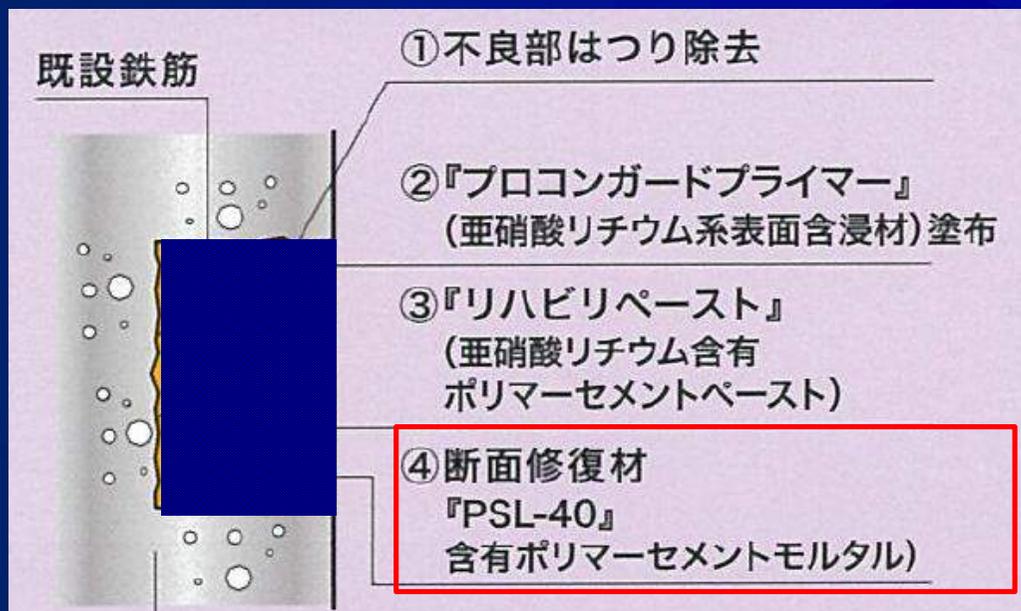


リハビリ断面修復工法と他工法とを組み合わせた**総合的な補修**

## 【断面修復材に混入する亜硝酸リチウム(PSL-40)混入量】

劣化機構 : 塩害  
設計に必要な値 : 塩化物イオン濃度

亜硝酸リチウム必要量の設計 ⇒ 塩化物イオン濃度に応じて設定する  
[NO<sub>2</sub><sup>-</sup>] / [Cl<sup>-</sup>]モル比 = 1.0となる量



### 【設計上の仮定】

ポリマーセメントモルタル系断面修復材に亜硝酸イオンを均一濃度で混入する

### 【混入可能量】

限界混入量の目安 : 170kg/m<sup>3</sup>程度

## 【塩化物イオン濃度に応じた亜硝酸リチウム(PSL-40)混入量の算定】

### 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 <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> )	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/m<sup>3</sup>混入させるとよい。

※ 亜硝酸リチウム固形分で55kg/m<sup>3</sup> ⇒ 亜硝酸リチウム40%水溶液で137.5kg/m<sup>3</sup>

## 【リハビリ断面修復工法の積算】

### 概算工事費の例

- ・はつり、鉄筋ケレン、鉄筋防錆処理あり
- ・施工面積10m<sup>2</sup>、はつり深さ50mm、延べ施工量0.5m<sup>3</sup>

塩化物イオン 濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	混入用亜硝酸リチウム 「PSL-40」混入量 (kg/m <sup>3</sup> )	施工面積 (m <sup>2</sup> )	施工費 (円)	施工費 (円/m <sup>2</sup> )
3.0	11.3	10	1,213,000	121,300
5.0	18.8	10	1,240,300	124,000
10.0	37.3	10	1,305,050	130,500

- ・国土交通省標準歩掛による材工の直接工事費
- ・労務費はH28年度広島県単価

# 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**

圧入装置:カプセル式高圧注入機『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:剛孔径はφ10mm  
剛孔間隔は500mmを標準とする  
(部材寸法や構造規模に応じて決定)  
剛孔深さは75mm~250mm

**施工手順**

1. 施工面を高圧洗浄またはディスラ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. 本加圧注入工完了後、着色反応試験により『プロコン40』の浸透状況を確認します。
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、施工完了です。

**施工事例**

リハビリカプセル工法施工状況

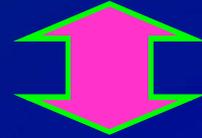
リハビリカプセル機設置状況

**工法概念図**

42

## 【一般的な内部圧入工法】

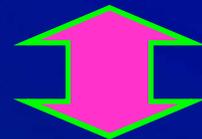
該当なし



## 【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

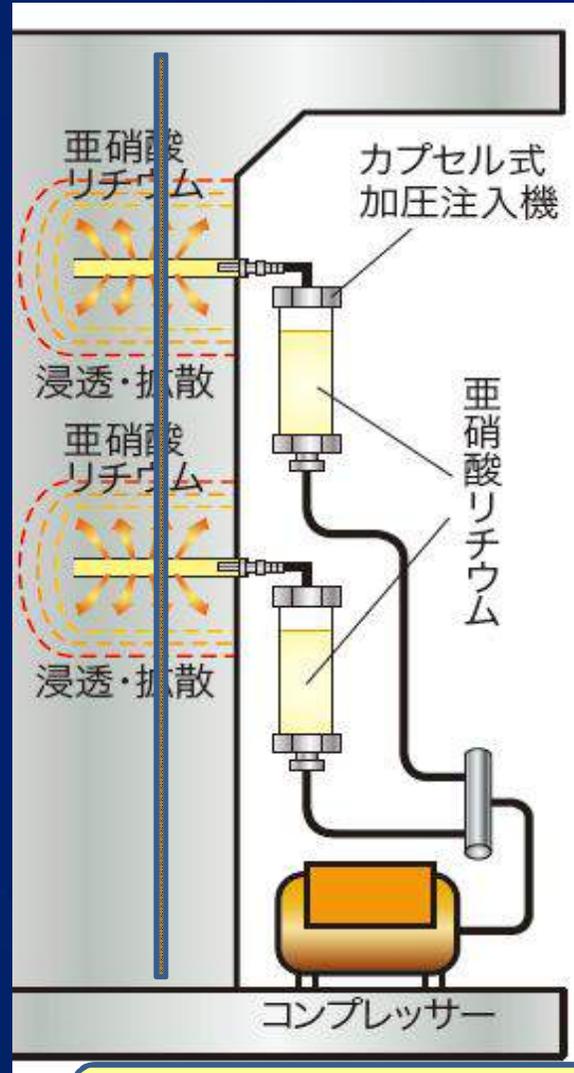
## 【電気防食工法】

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】・・・塩害・中性化に対して

『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φ10mm、L=100mm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



以後の鉄筋腐食を根本的に抑制する

削孔箇所から鉄筋周囲へ亜硝酸イオンを圧入する

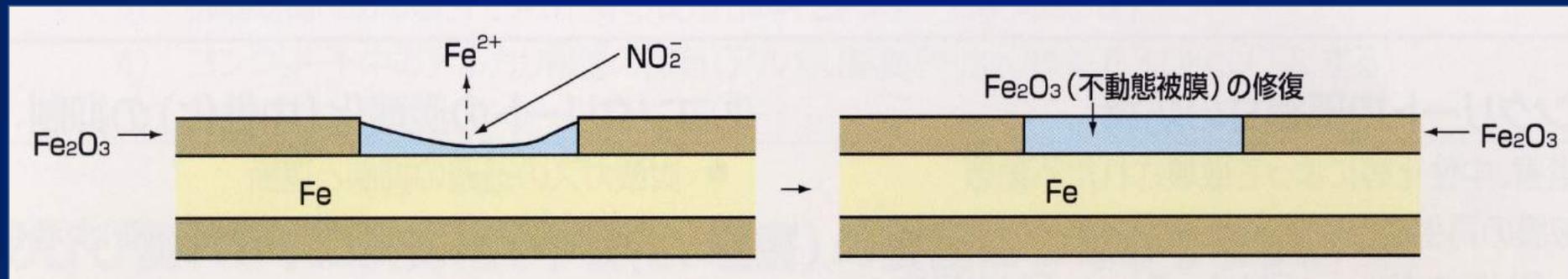
# 【リハビリカプセル工法 施工状況】



工事名	無蓋東郷宮名跡(一の宮)棟 構架修繕工事(地中)
工種	塩害修繕工
測点	Rc床版 (中構部)
圧入引削孔 状況 (圧入深70cm)	



## 【亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制の概念】



**抑制根拠** : 亜硝酸イオンが不動態被膜を再生し、鉄筋腐食を抑制する

**基本方針** : 不動態被膜を再生するために必要な亜硝酸イオンを供給する

### 【劣化要因が塩害の場合】

既往の研究により、以下の亜硝酸イオン量があればOK

$[\text{NO}_2^-] / [\text{Cl}^-]$  モル比 = 1.0となる量

例)

鉄筋位置での塩化物イオン濃度	亜硝酸リチウム必要量	亜硝酸リチウム40%水溶液必要量
1.2kg/m <sup>3</sup>	1.97kg/m <sup>3</sup>	4.48kg/m <sup>3</sup>
5.0kg/m <sup>3</sup>	7.47kg/m <sup>3</sup>	18.67kg/m <sup>3</sup>
10.0kg/m <sup>3</sup>	14.94kg/m <sup>3</sup>	37.34kg/m <sup>3</sup>

これだけの量の亜硝酸リチウムをコンクリート中に供給できる工法は内部圧入だけ

## 【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/mm<sup>2</sup>)
- ・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/m<sup>3</sup>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。

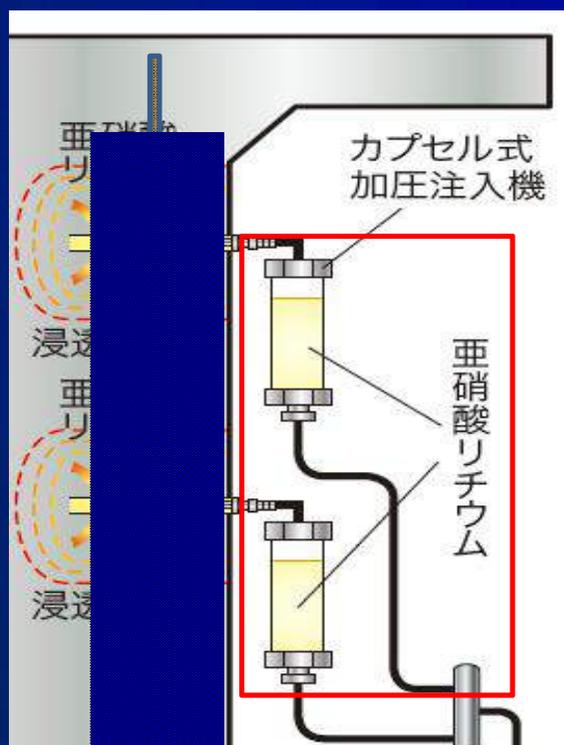


リハビリ断面修復工法とリハビリカプセル工法とを組み合わせた  
総合的な塩害補修

# 【塩化物イオン濃度に応じた 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の圧入量】

- 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<sub>2</sub><sup>-</sup>] / [Cl<sup>-</sup>] モル比 = 1.0となる量



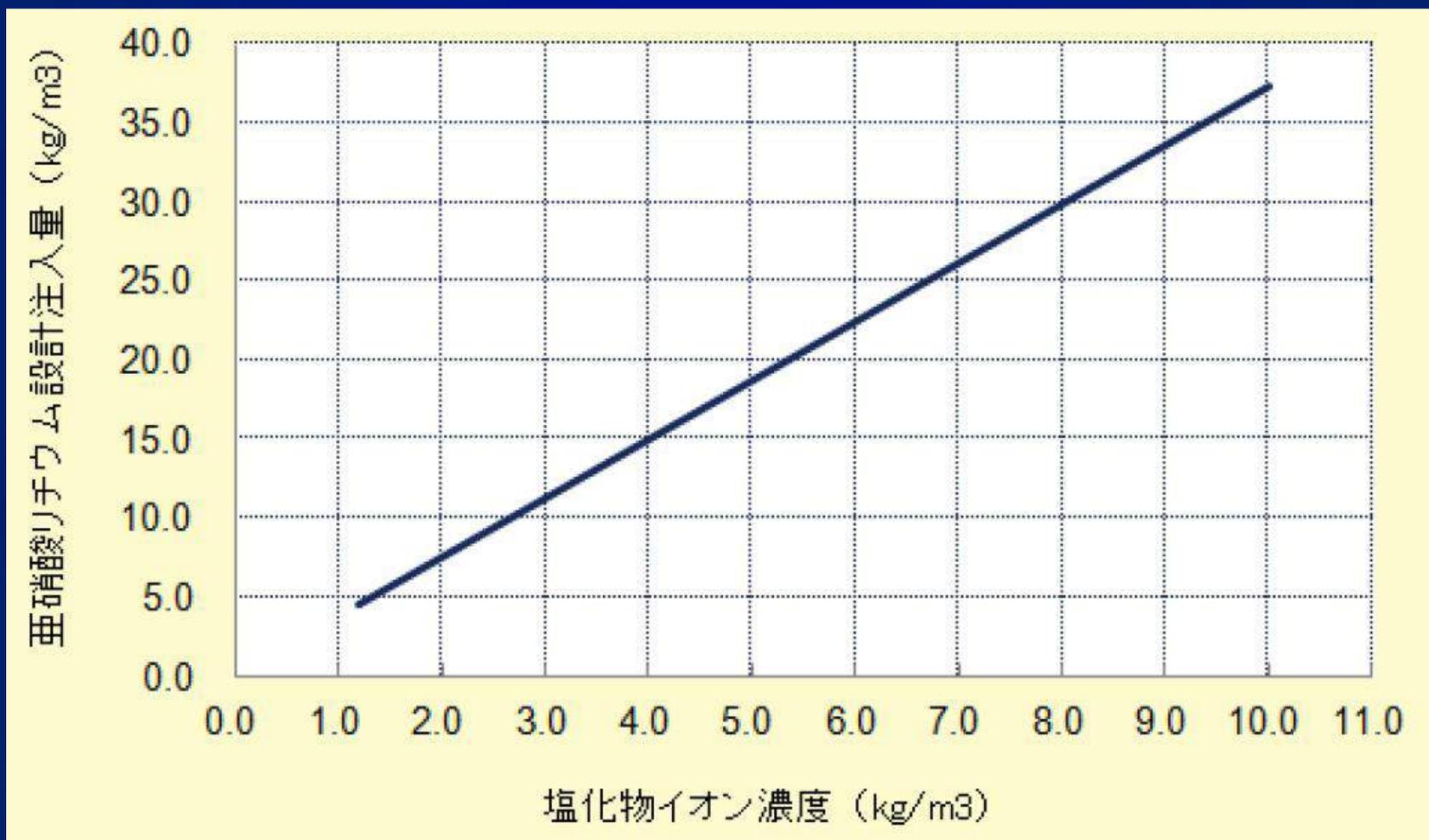
## 【設計上の仮定】

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<sup>3</sup>程度  
(塩化物イオン10kg/m<sup>3</sup>相当)

# 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

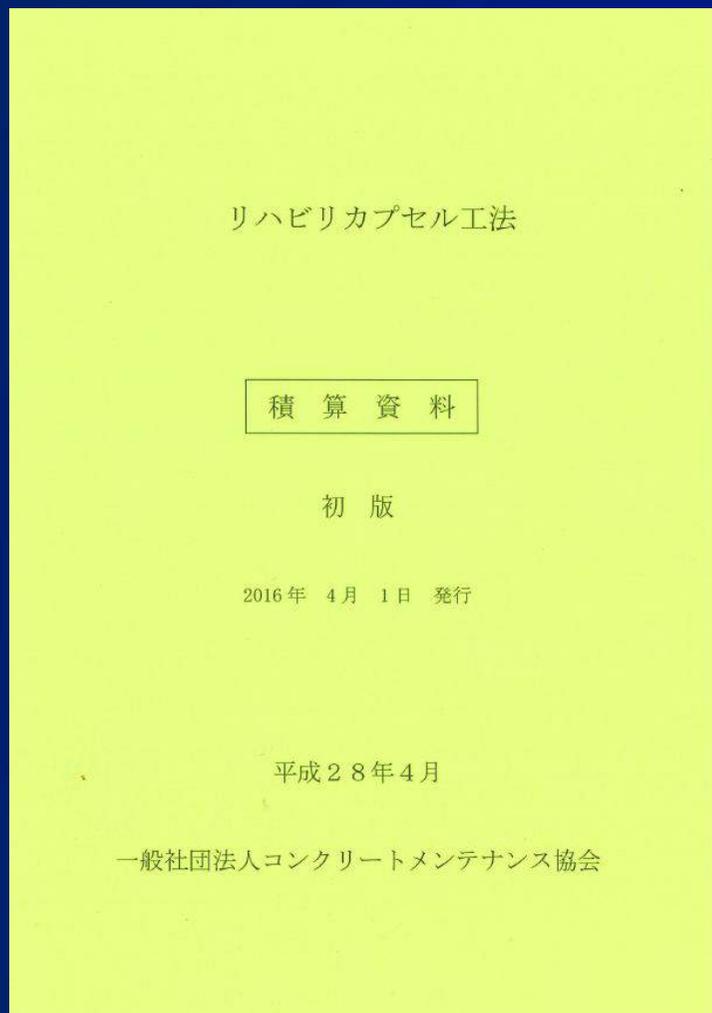


## 【塩化物イオン濃度に応じた 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の圧入量】

塩化物イオン 濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
浸透拡散型 亜硝酸リチウム (プロコン40)圧入量 (kg/m <sup>3</sup> )	7.5	14.9	22.4	29.9	37.3

単位体積あたり圧入量は塩化物イオン濃度に応じて設定(塩害の場合)

# 【リハビリカプセル工法の積算】



## 1) 圧入孔数 400 孔以上

表 4.8.2 圧入歩掛 (400 孔当り)

名 称	規 格	単 位	数 量	摘 要
土木一般世話役		人	20× $\alpha$	
特殊作業員		人	80× $\alpha$	
普通作業員		人	40× $\alpha$	
諸 雑 費		%	10	

- (注) 1. 夜間作業を伴う場合は、別途見積りを行うものとする。  
 2.  $\alpha$  は施工対象構造物のコンクリートの圧縮強度に応じた作業効率であり、表 4.8.3 に示すとおりとする。  
 3. 諸雑費は、空気圧縮機運転費、ホース損料、分配器損料、取付け工具及び消耗材料等の費用であり、労務費の合計額に上表の率を乗じた金額を上限として計上する。

表 4.8.3 コンクリートの圧縮強度に応じた作業効率 ( $\alpha$ )

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	10 ≤ $\sigma_c$ < 20	20 ≤ $\sigma_c$ < 30	30 ≤ $\sigma_c$ < 40
$\alpha$	0.90	1.00	1.20

## 2) 圧入孔数 400 孔未満

表 4.8.4 圧入歩掛 ※ (圧入孔数当り)

名 称	規 格	単 位	数 量	摘 要
土木一般世話役		人	20× $\alpha$	
特殊作業員		人	80× $\alpha$	
普通作業員		人	40× $\alpha$	
諸 雑 費		%	10	

- (注) 1. 上記に示す歩掛を圧入孔数当りとして計上する。  
 2. 夜間作業を伴う場合は、別途見積りを行うものとする。  
 3.  $\alpha$  は施工対象構造物のコンクリートの圧縮強度に応じた作業効率であり、表 4.8.3 に示すとおりとする。  
 4. 諸雑費は、空気圧縮機運転費、ホース損料、分配器損料、取付け工具及び消耗材料等の費用であり、労務費の合計額に上表の率を乗じた金額を上限として計上する。

※ 亜硝酸リチウム圧入量、圧入日数などによって工事費が大幅に変わります。個別案件毎にリハビリカプセル工法積算資料に準拠して積算する必要があります。具体的な積算についてはコンクリートメンテナンス協会へお問い合わせください。

# 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!

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(部材寸法や構造規模に応じて決定)  
削孔深さは300mm~4,000mm

### 施工事例

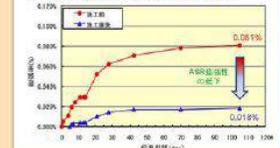


### 施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはアイスクラ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』の飛出を防ぎます。
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、削孔ホース、加圧パッカーを設置します。
5. 全圧入孔に対して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. 全圧入孔に対して1回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. 本加圧注入工完了後、呈色反応試験により『プロコン40』の浸透状況を確認します。
8. 無収縮グラウト材により全圧入孔を充填します。
9. 表面を仕上げて施工完了です。

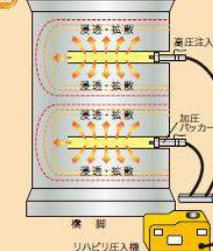
### 補修効果の検証

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塩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。



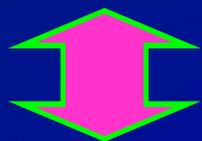
ASRリチウム工法施工前後の残存塩量試験結果(JCH-D02法)の例

### 工法概念図



## 【一般的な内部圧入工法】

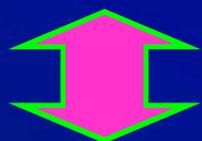
該当なし



## 【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）



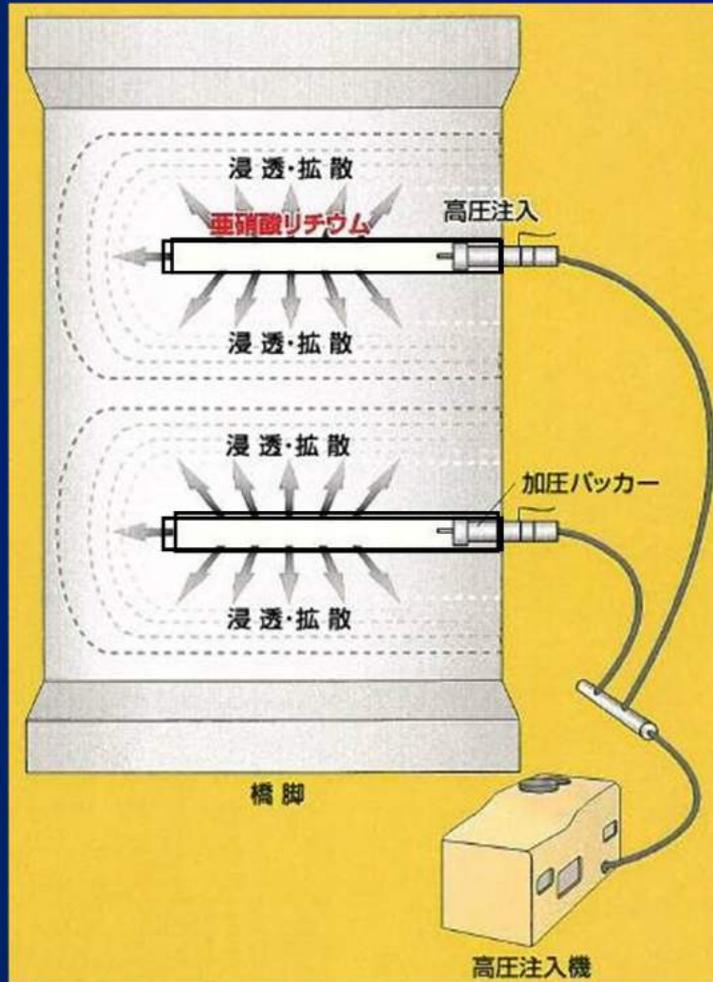
根本的なASR膨張抑制という  
同じ目的で適用される工法

## 【新技術】

該当なし

# 【ASRリチウム工法】・・・ ASRリチウム工法

『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』



・コンクリートに削孔して、亜硝酸リチウム40%水溶液を加圧注入。

注入量 : Li/Naモル比0.8となる $\text{LiNO}_2$   
削孔径 :  $\phi 10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$ ,  $38\text{mm}$   
削孔間隔 :  $500\text{mm}$ ,  $750\text{mm}$ ,  $1000\text{mm}$   
注入圧力 :  $0.5\text{MPa} \sim 1.5\text{MPa}$   
注入期間 : 20日～40日程度

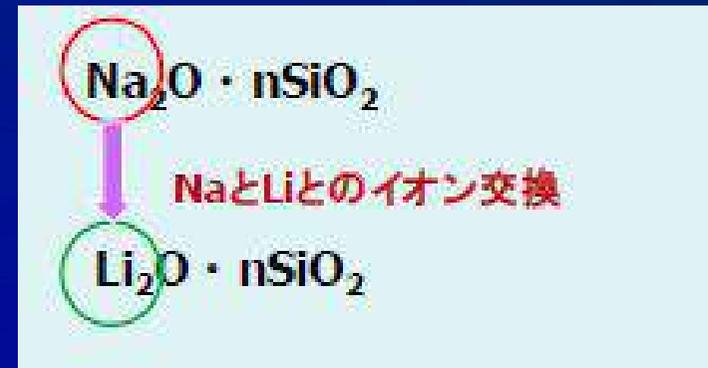
- ①ひび割れ注入および表面被覆により、コンクリート表面のひび割れを閉塞する
- ②コンクリートに小径の削孔を行い、圧入孔とする
- ③油圧式圧入装置、配管、パッカーを設置して、浸透拡散型亜硝酸リチウムを加圧注入する
- ④所定の量の亜硝酸リチウムをコンクリート内部に圧入した後、削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

削孔箇所からコンクリート内部全体へリチウムイオンを圧入する

# 【ASRリチウム工法 施工状況】



# 【リチウムイオンによるASR膨張抑制の概念】



**抑制根拠** : リチウムイオンがASRゲルを非膨張化し、ASR膨張を抑制する

**基本方針** : ASRゲルを非膨張化するために必要なリチウムイオンを供給する

既往の研究により、以下のリチウムイオン量があればOK

$[\text{Li}^+] / [\text{Na}^+] \text{モル比} = 0.8 \text{となる量}$

例)

コンクリート中のアルカリ総量	亜硝酸リチウム必要量	亜硝酸リチウム40%水溶液必要量
3.0kg/m <sup>3</sup>	4.10kg/m <sup>3</sup>	10.26kg/m <sup>3</sup>
4.0kg/m <sup>3</sup>	5.47kg/m <sup>3</sup>	13.68kg/m <sup>3</sup>
5.0kg/m <sup>3</sup>	6.84kg/m <sup>3</sup>	17.10kg/m <sup>3</sup>

これだけの量の亜硝酸リチウムをコンクリート全体に供給できる工法は内部圧入だけ

## 【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/mm<sup>2</sup>)
- ・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

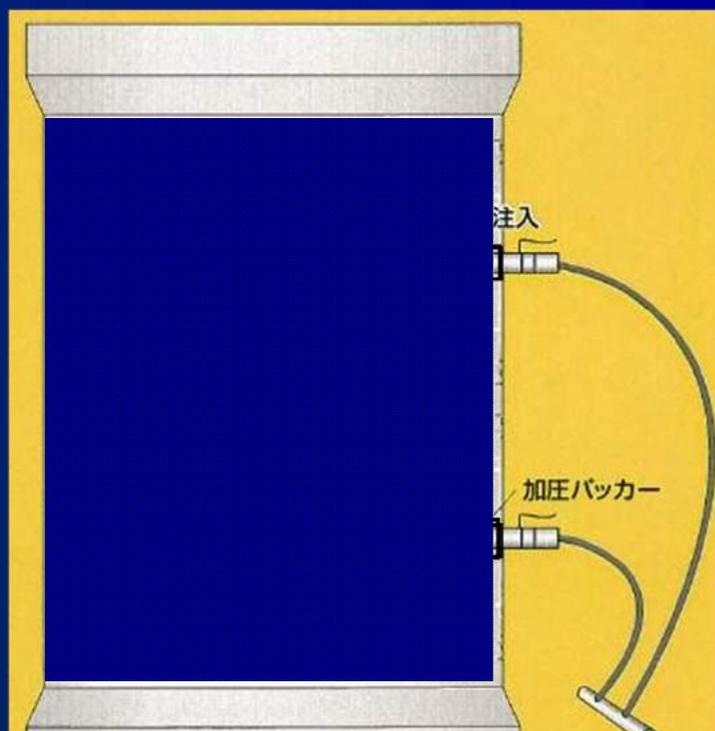
## 【アルカリ総量に応じた

## 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の圧入量】

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<sup>+</sup>] / [Na<sup>+</sup>] モル比 = 0.8となる量



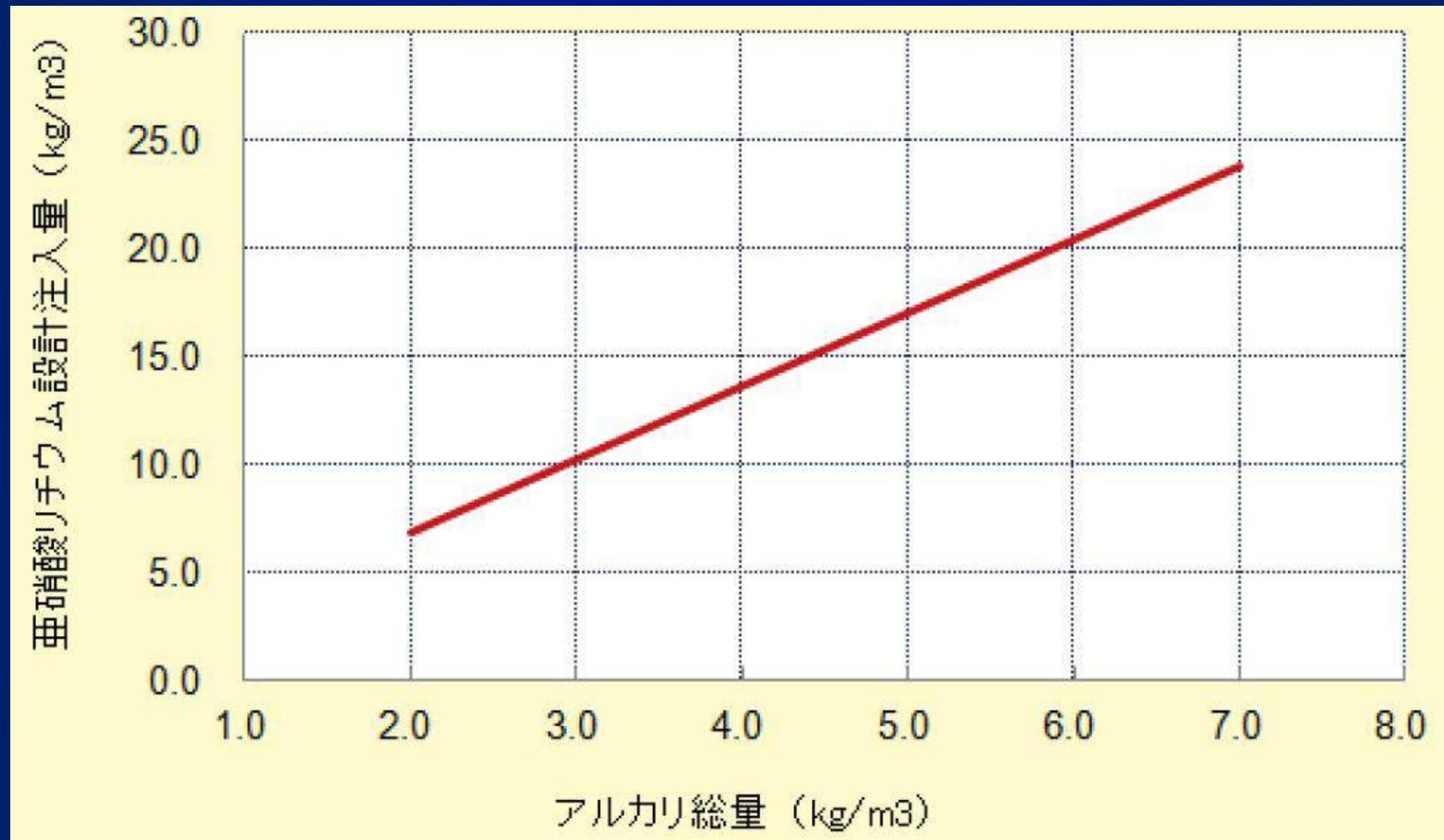
### 【設計上の仮定】

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/m<sup>3</sup>程度  
(アルカリ総量11kg/m<sup>3</sup>相当)

# アルカリ総量と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

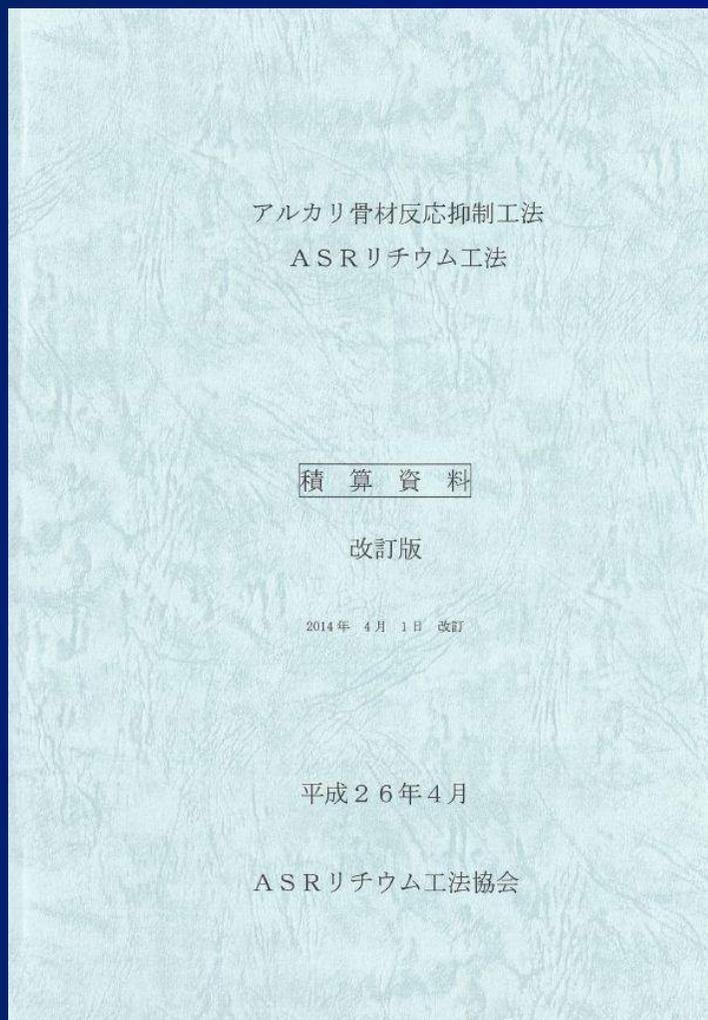


## 【アルカリ総量に応じた 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の圧入量】

アルカリ総量 (kg/m <sup>3</sup> )	3.0	4.0	5.0	6.0
浸透拡散型 亜硝酸リチウム (プロコン40)圧入量 (kg/m <sup>3</sup> )	10.3	13.7	17.1	20.5

単位体積あたり圧入量はアルカリ総量に応じて設定(ASRの場合)

# 【ASRリチウム工法の積算】



## 5. 10 本加圧注入工

### 1) 編成人員

本加圧注入工の日当り編成人員は、次表を標準とする。

表 5. 10. 1 日当り編成人員 (人)

注入世話役	注入特殊工	普通作業員
1	1	1

### 2) 本加圧注入歩掛

本加圧注入を行う場合の施工歩掛は、表 5. 10. 2 に示すとおりとする。ただし、圧入孔数が 100 孔未満の場合は、表 5. 10. 2 示す歩掛を施工孔数当たりのものとする。

なお、1 工事において施工対象構造物が複数ある場合、圧縮強度が同じ区分となっても構造物毎の孔数に応じた歩掛とする。

表 5. 10. 2 本加圧注入工歩掛 (100 孔当り)

名称	規格	単位	数量	摘要
注入世話役		人	$27 \times \alpha$	
注入特殊工		人	$31 \times \alpha$	
注入作業員		人	$29 \times \alpha$	
諸雑費		%	30	

- (注) 1. 本加圧注入は昼間の 1 日 8 時間作業とする。夜間作業を伴う場合は、別途見積りを行うものとする。  
 2.  $\alpha$  は施工対象構造物のコンクリートの圧縮強度に応じた作業効率であり表 5. 10. 3 に示すとおりとする。  
 3. 諸雑費は、加圧注入機損料、窒素ガス、バッテリー充電、取付け工具及び消耗材料等の費用であり労務費の合計額に上表の率を乗じた金額を上限として計上する。

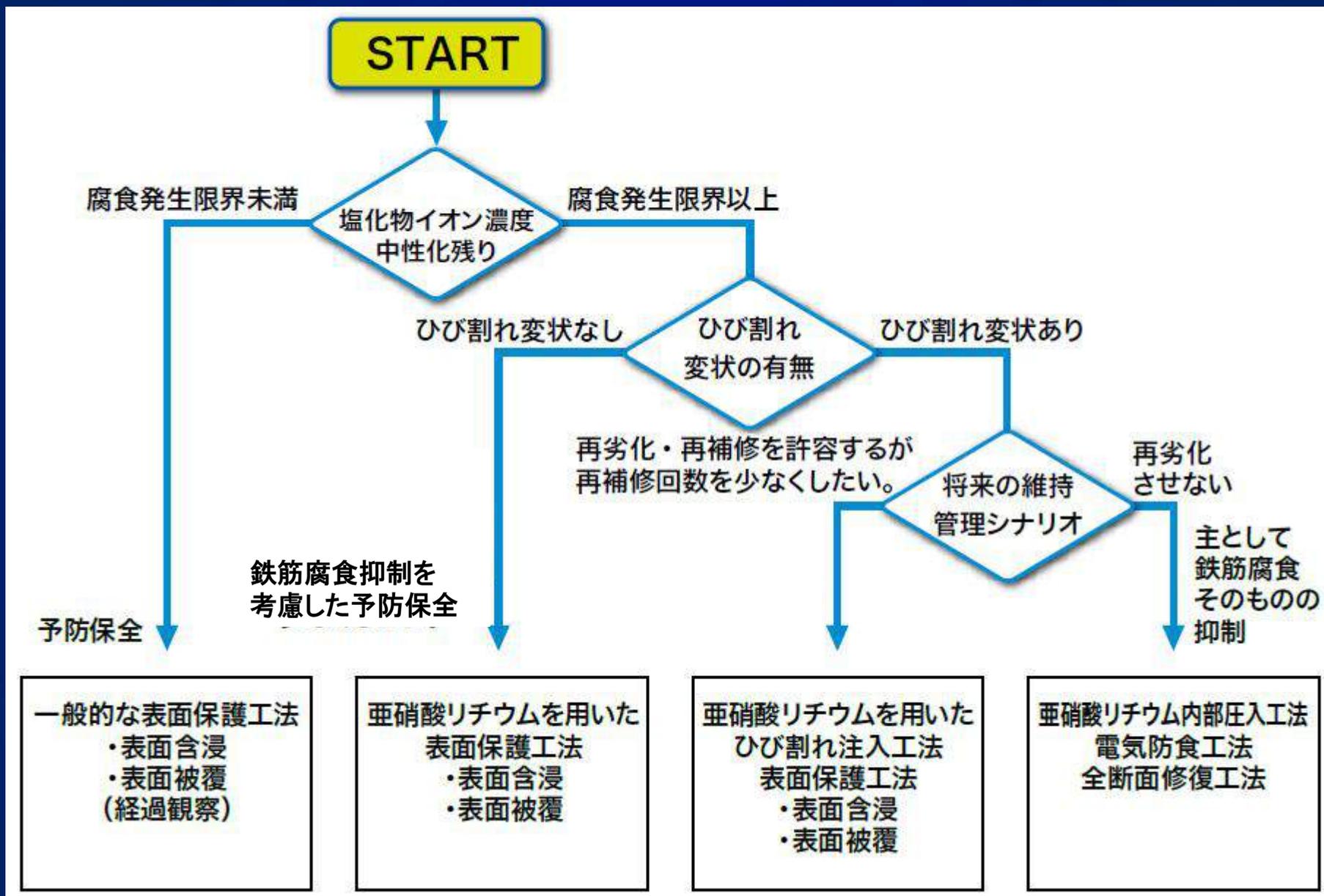
表 5. 10. 3 作業効率 ( $\alpha$ )

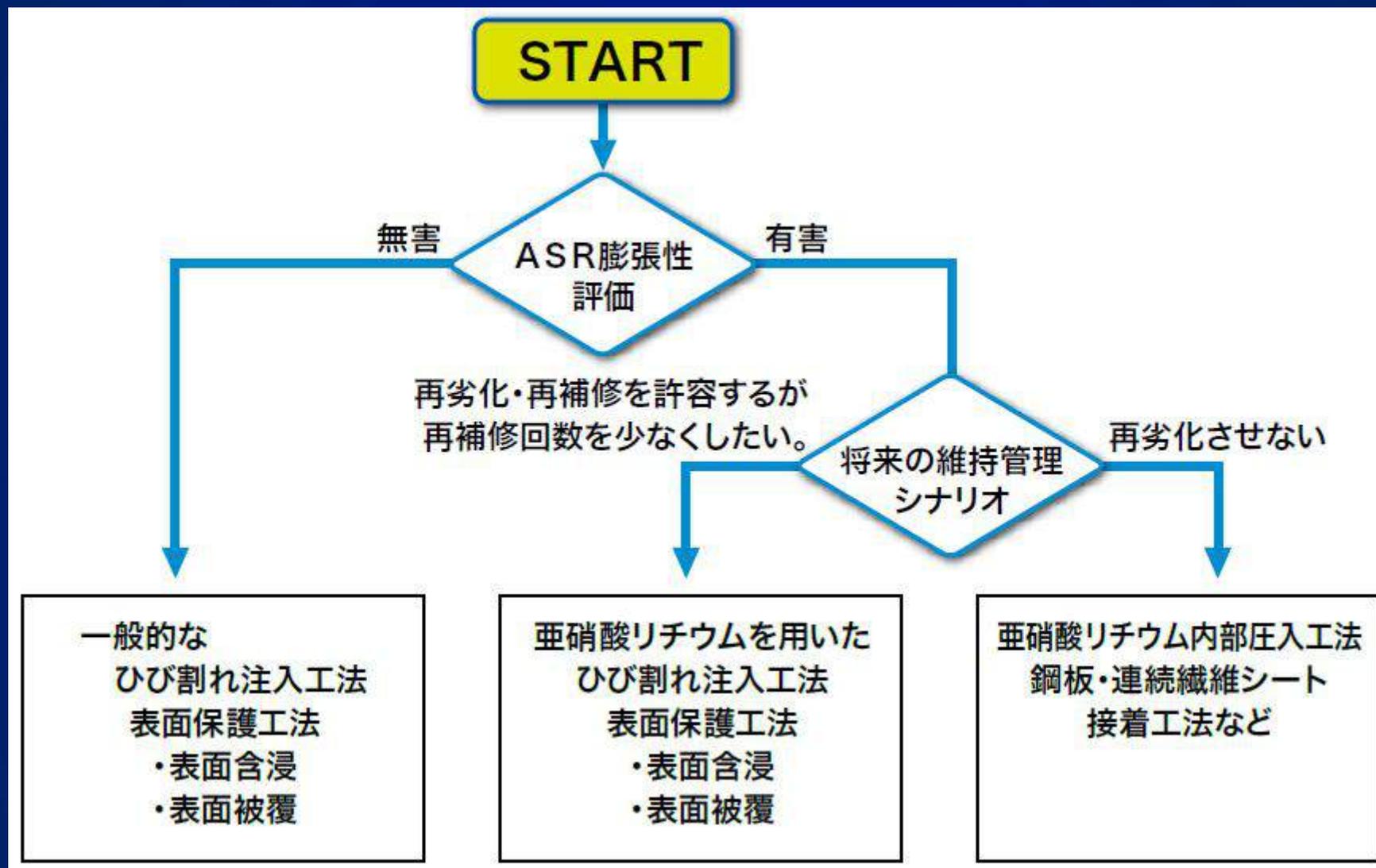
種別	圧縮強度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	$10 \leq \sigma_c < 20$	$20 \leq \sigma_c < 30$	$30 \leq \sigma_c < 40$	$40 \leq \sigma_c < 50$
本加圧注入工	0.83	1.00	1.17	1.52

※ 亜硝酸リチウム圧入量、圧入日数などによって工事費が大幅に変わります。個別案件毎にASRリチウム工法積算資料に準拠して積算する必要があります。具体的な積算についてはASRリチウム工法協会またはコンクリートメンテナンス協会へお問い合わせください。

# 【塩害で劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】

技術資料P.66





### 3. 補修効果の検証と追跡調査

# 1. 『亜硝酸リチウム含有モルタルの塩分浸透抑制に関する研究』

福田杉夫, 梶田佳寛, 鹿毛忠継, 山田義智



- ・沖縄県の海洋構造物にて暴露試験
- ・無処理の範囲の鉄筋は塩害により著しく腐食しており, 断面欠損も認められた
- ・亜硝酸リチウムを用いた表面被覆を実施した範囲の鉄筋は表面錆程度



無処理範囲

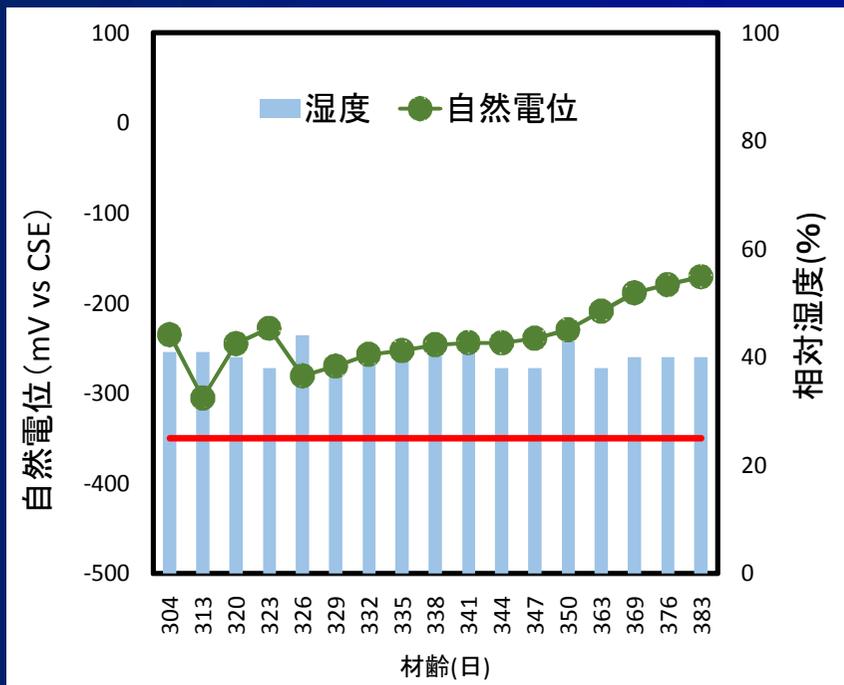
亜硝酸リチウム含有  
ポリマーセメントペースト塗布



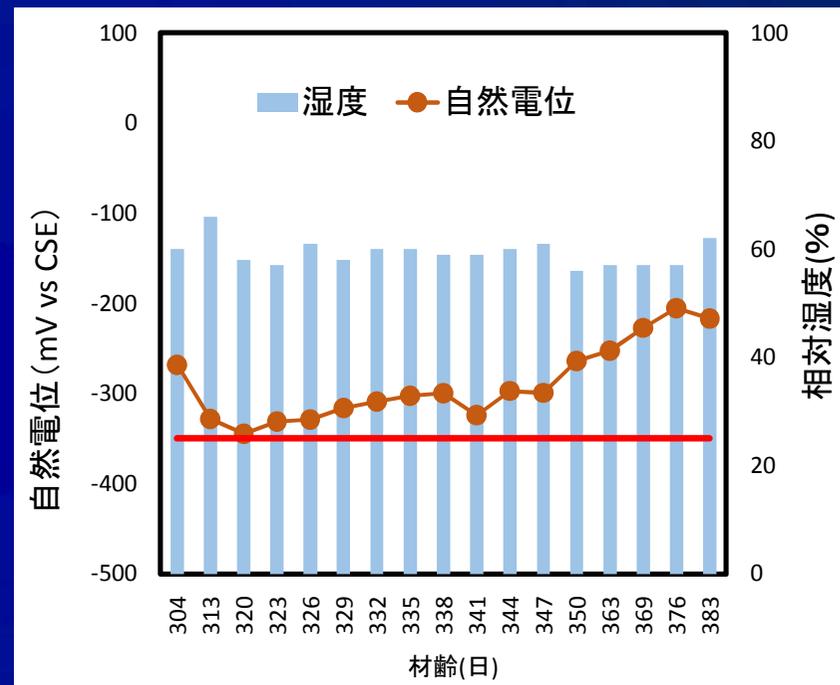
## 2. 『亜硝酸リチウム圧入工の鉄筋腐食抑制効果に及ぼす

### 相対湿度の影響』

大寺稔雅, 李春鶴, 江良和徳, 堀田成治



相対湿度40%

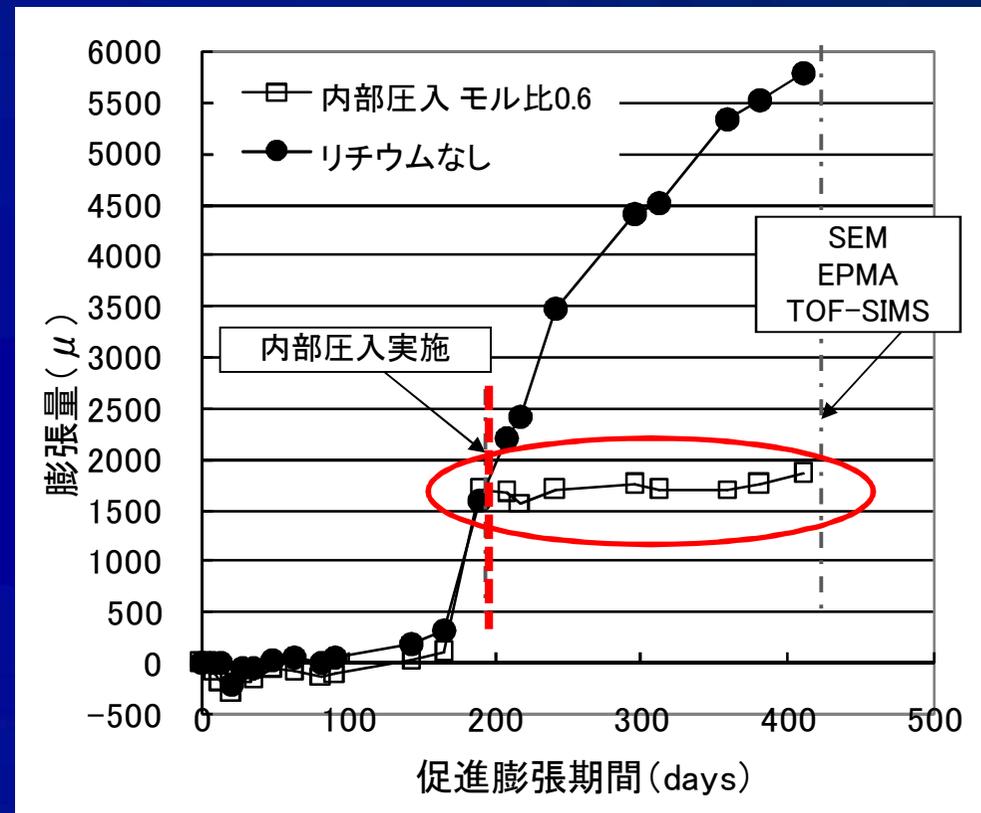


相対湿度60%

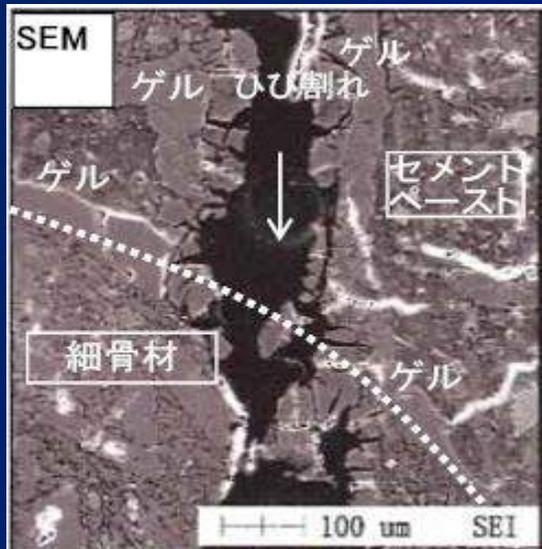
- ・鉄筋腐食が進行したコンクリート供試体に、**亜硝酸リチウム内部圧入工**を適用
- ・圧入前の卑な自然電位から、**時間の経過とともに貴な電位へと移行**することが示された

### 3. 『リチウムイオンによるASR膨張抑制効果に関する一考察』

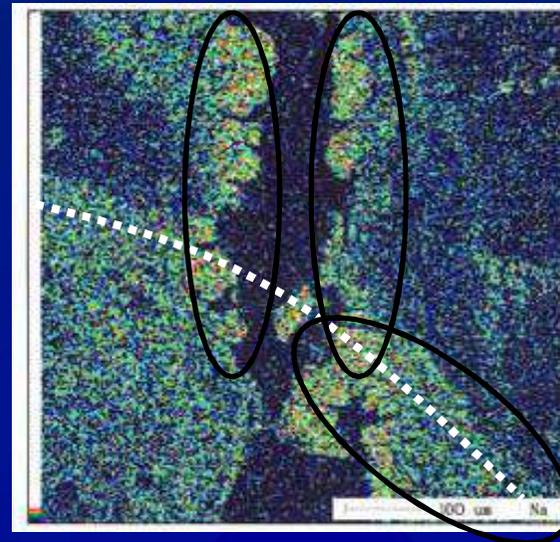
江良和徳, 三原孝文, 山本貴士, 宮川豊章



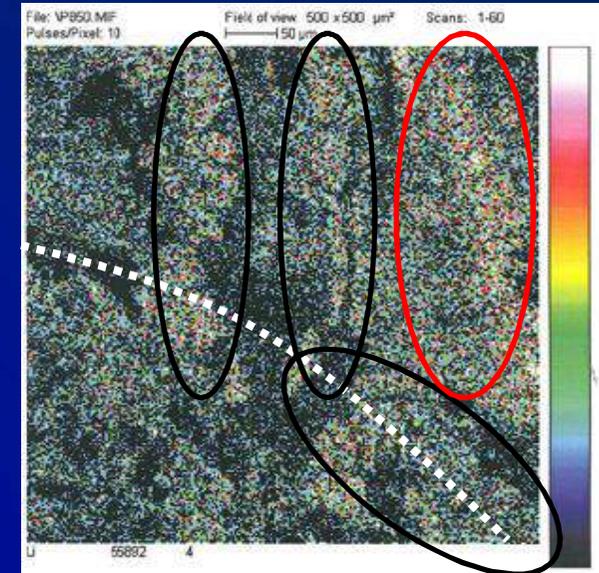
- ・反応性骨材を用いたASR供試体を作成し, 材齢188日で亜硝酸リチウムを内部圧入
- ・内部圧入実施を境に, ASR膨張の進行が抑制されていることが分かる
- ・さらに, 内部圧入した供試体から試料を採取し, ゲル中の $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ を分析



試料分析範囲  
(SEM)



ゲル中のNaの分布  
(EPMAより)



ゲル中のLiの分布  
(TOF-SIMSより)

“Na”が多く存在しているゲルの位置に“Li”も同様に存在している。(白の楕円)

⇒リチウムイオンを内部圧入することにより、骨材界面付近およびひび割れに生成しているゲル中にリチウムイオンが到達

セメントペースト中にも“Li”が多く存在している。(赤の楕円)

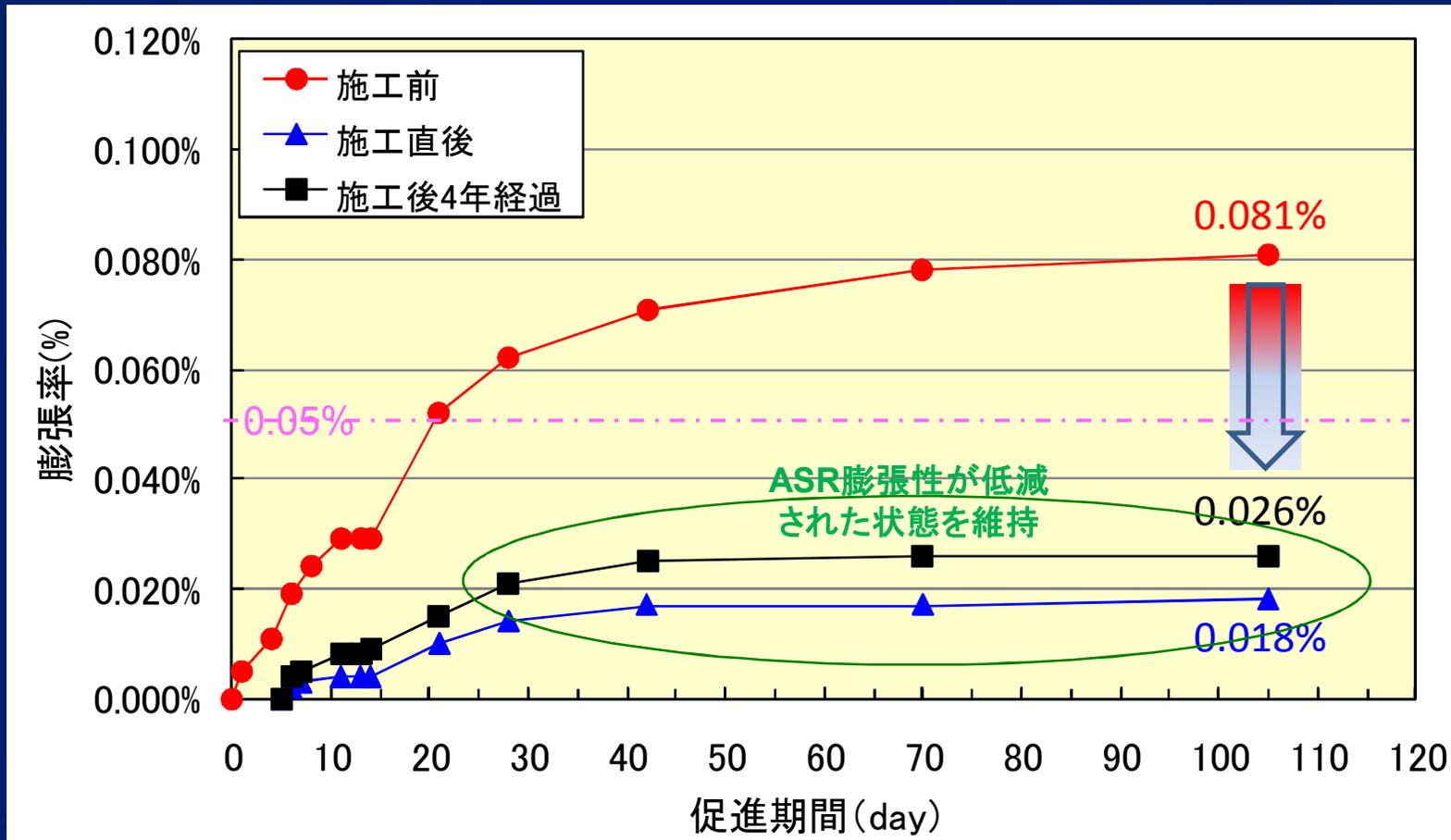
⇒内部圧入工によるLiの浸透経路は、ひび割れを通じた移動だけでなく、連続空隙内の浸透またはコンクリートマトリックス中への圧力勾配や濃度勾配による移動なども推定される

# 4. 『リチウムイオン内部圧入工を施工した構造物の長期耐久性について』 江良和徳, 徳納武使, 峯松昇司, 宮川豊章



施工前状況と施工後4年経過時の状況

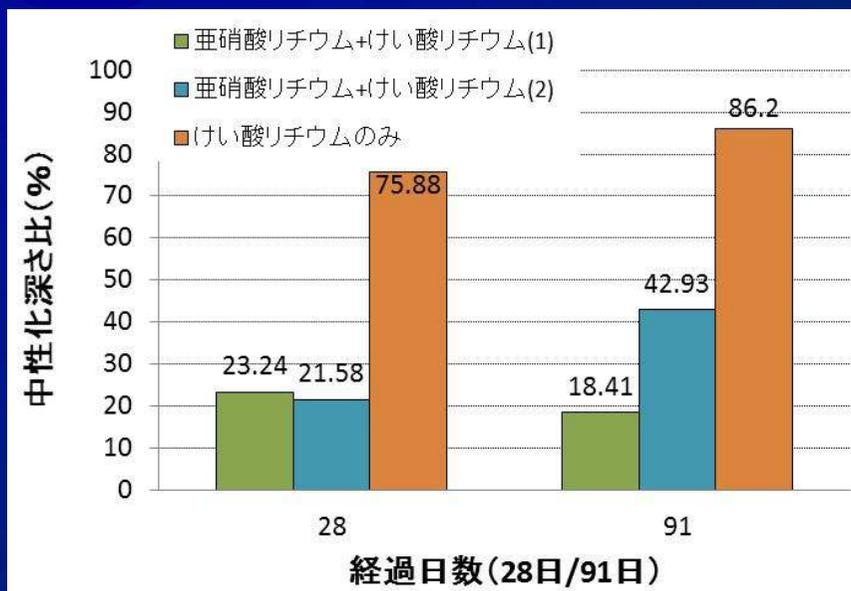
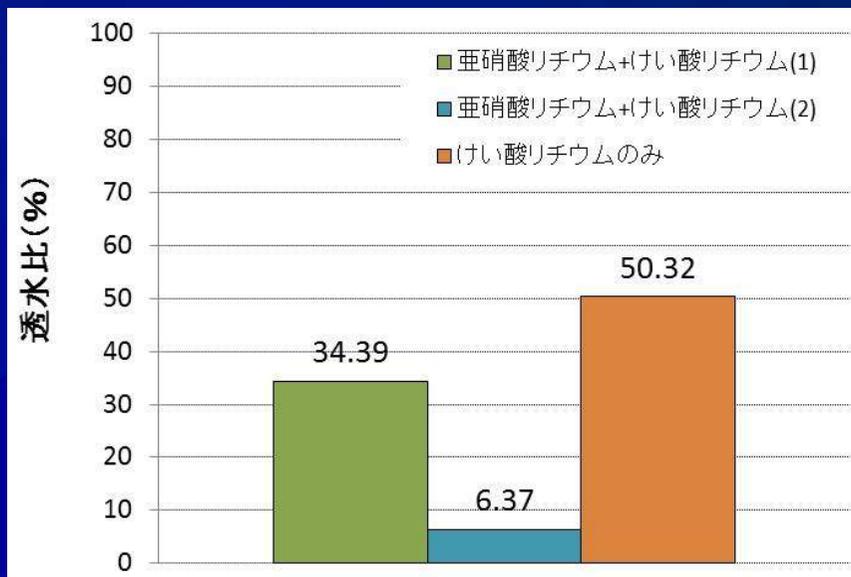
## 【残存膨張量試験(JCI-DD2法)による定量評価】



- ・施工前(赤)と施工直後(青)を比較すると、リチウムイオン内部圧入工を施工することによりASR膨張性が低減されることがわかる。
- ・施工直後(青)と施工後4年経過時(黒)を比較すると、圧入後4年経過してもASR膨張性が低減された状態で維持されていることがわかる。

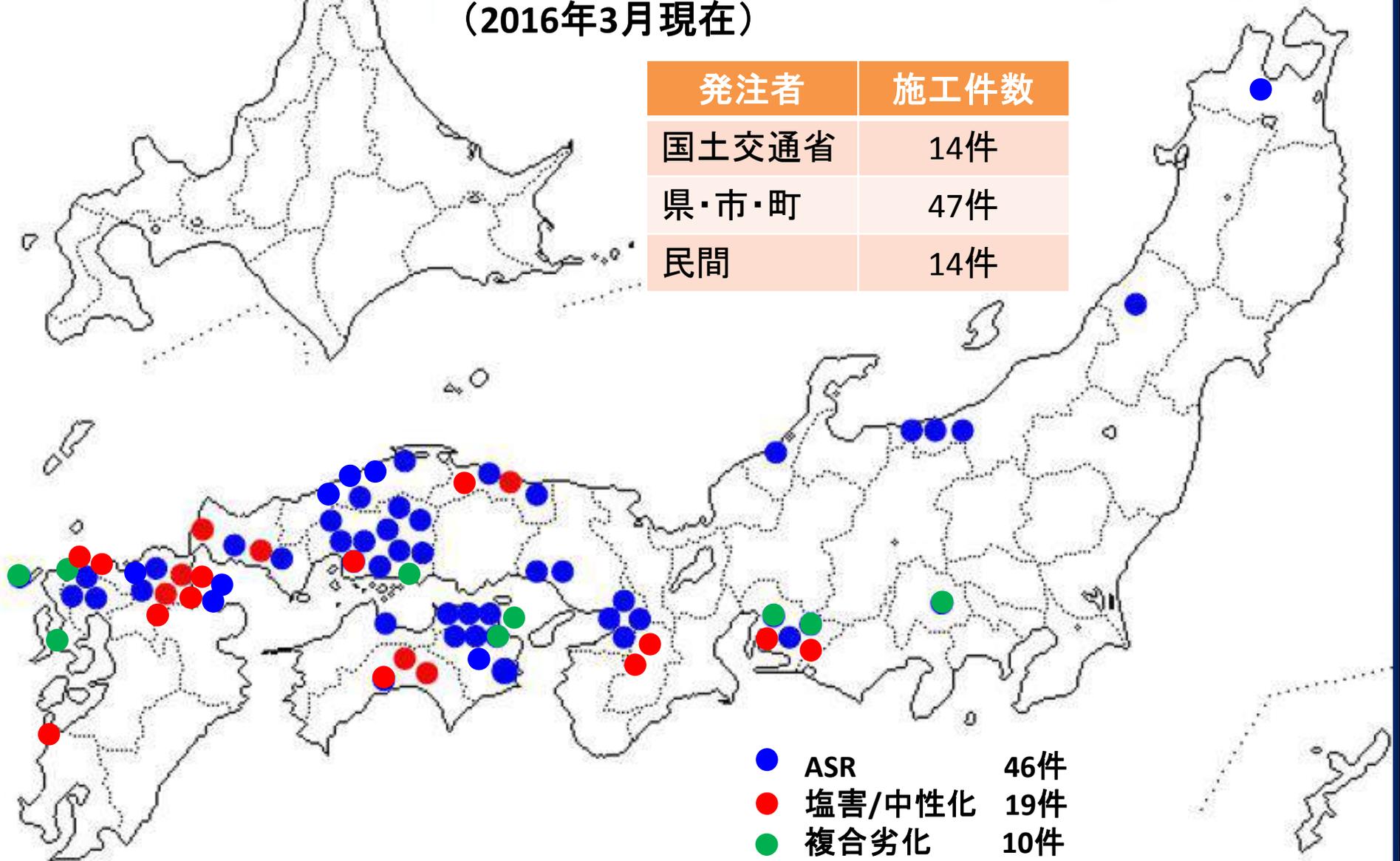
# 5. 『亜硝酸リチウム系表面含浸材の併用効果に関する基礎的研究』

江良和徳, 大山省吾, 毛利雄紀, 十河茂幸



## 亜硝酸リチウム内部圧入工法 施工実績図 (2016年3月現在)

発注者	施工件数
国土交通省	14件
県・市・町	47件
民間	14件



## 【ASRリチウム工法施工後の残存膨張量試験結果】

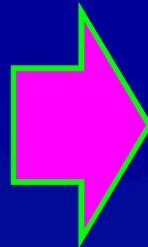
年度	名称	発注者	残存膨張量 (施工前)	残存膨張量 (施工後)	備考
H24	湯村大橋	島根県	0.065%	<b>0.019%</b>	JCI-DD2法
H24	山内高架橋	佐賀県	0.180%	<b>0.012%</b>	JCI-DD2法
H24	上関大橋	山口県	—	<b>0.020%</b>	NaOH浸漬法
H24	大橋	香川県	—	<b>0.039%</b>	JCI-DD2法
H24	御山大橋	香川県	0.213%	<b>0.008%</b>	JCI-DD2法
H24	石川橋	香川県	—	<b>0.007%</b>	JCI-DD2法
H24	楠川橋	香川県	—	<b>0.026%</b>	JCI-DD2法
H25	東宮新橋	山形県	0.280%	<b>0.025%</b>	JCI-DD2法
H25	西沢川橋	山梨県	—	<b>0.027%</b>	JCI-DD2法
H26	仁多大橋	島根県	—	<b>0.024%</b>	JCI-DD2法
H27	灘橋	島根県	—	<b>0.024%</b>	JCI-DD2法
H27	石井橋	島根県	0.092%	<b>0.016%</b>	JCI-DD2法
H27	今川立坑	大阪府	—	<b>0.052%</b>	NaOH浸漬法

# 【ASRリチウム工法施工後の外観目視調査結果】

平成16年度 陶橋（国土交通省四国地方整備局）の例



施工前(2005年)



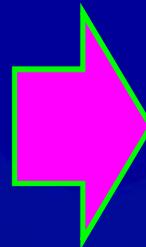
施工後10年経過(2015年)

# 【ASRリチウム工法施工後の外観目視調査結果】

平成19年度 御手洗橋（国土交通省中国地方整備局）の例



施工前(2007年)



再劣化なし



再劣化なし

施工後8年経過(2015年)

## 【ASRリチウム工法施工後の外観目視調査結果】



西庄跨線橋(四国地整) H17度施工(ASR)  
H28年4月撮影



米岡小橋(鳥取県) H22度施工(ASR)  
H27年5月撮影

## 【ASRリチウム工法施工後の外観目視調査結果】



大橋(香川県) H24度施工(ASR)  
H28年4月撮影



仁多大橋(島根県) H26度施工(ASR)  
H27年10月撮影

## 【リハビリカプセル工法施工後の外観目視調査結果】



一の宮橋(鳥取県) H24度施工(塩害)  
H27年5月撮影



浜玉橋(九州地整) H27度施工(塩害)  
H28年4月撮影

## 【リハビリカプセル工法施工後の外観目視調査結果】



湯村大橋(島根県) H24度施工(ASR)  
H27年10月撮影



船久橋(島根県) H25度施工(ASR)  
H27年5月撮影

## 4. おわりに

## 【あらためて、亜硝酸リチウムを用いた補修技術とは】

- ・亜硝酸リチウムを用いたひび割れ注入工、表面含浸工、表面被覆工、断面修復工および内部圧入工
- ・劣化原因、劣化程度に応じた定量的な補修設計が可能
- ・将来予測、維持管理シナリオに応じた主体的な工法選定が可能
- ・様々な場面で構造物の長寿命化に寄与することが可能



持続可能な社会の形成のために