

亜硝酸リチウムを用いたコンクリート補修技術

～塩害、中性化、ASRを中心に～

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』
- 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 『リハビリカプセル工法』
- 内部圧入工法 『ASRリチウム工法』

3. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法の選定の考え方

- 劣化グレードと補修工法との関係
- 補修工法選定フローの例

1. はじめに

【亜硝酸リチウム】

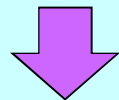
- ・リチウム系化合物のコンクリート補修材料
- ・原材料は「ナフサ」, 「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40% (限界濃度)

Lithium Nitrite ; LiNO_2



亜硝酸イオン
 NO_2^-

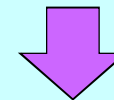
不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する



『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

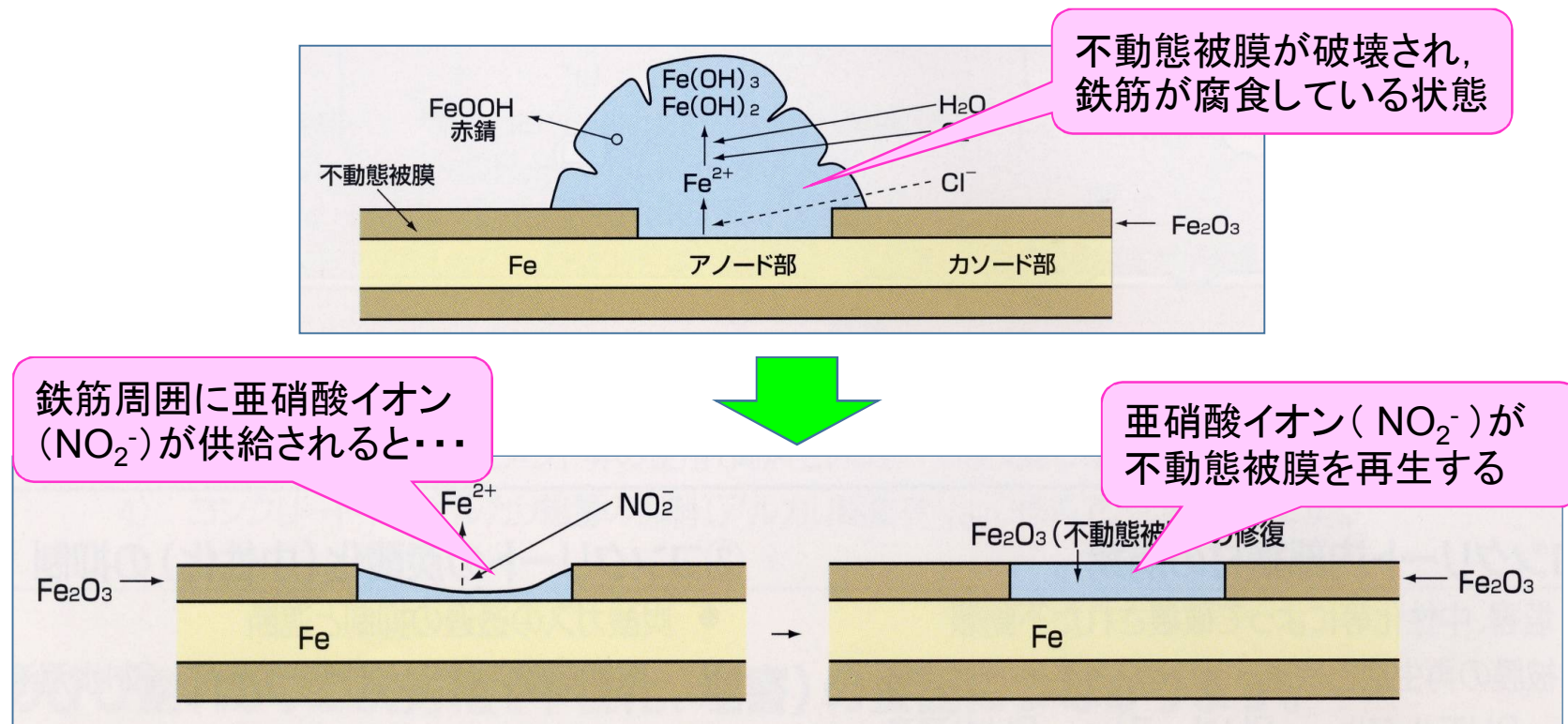
アルカリシリカゲルを
非膨張化する



『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



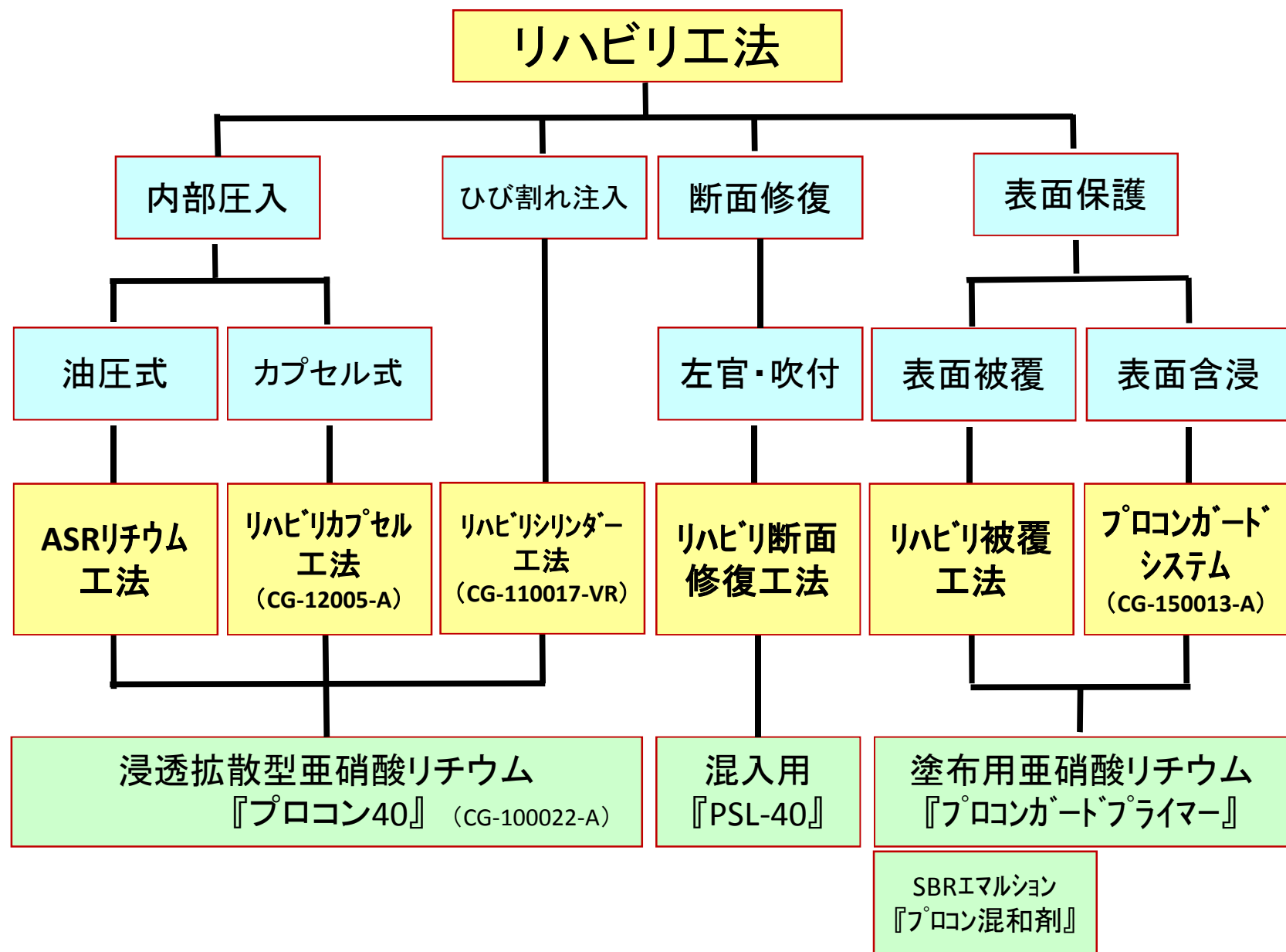
亜硝酸イオン(NO_2^-)による不動態被膜再生メカニズム

【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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (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



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

プロコン40先行注入の状況 超微粒子セメント系注入材注入の状況

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リングします。
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、シーリング材を除去します。

工法概念図

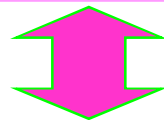
ひび割れ注入工

1. 座金取り付け
2. ひび割れシーリング
3. 「プロコン40」先行注入
4. 超微粒子セメント系ひび割れ注入材注入
5. 注入材硬化後、座金・シーリング材撤去

【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 |



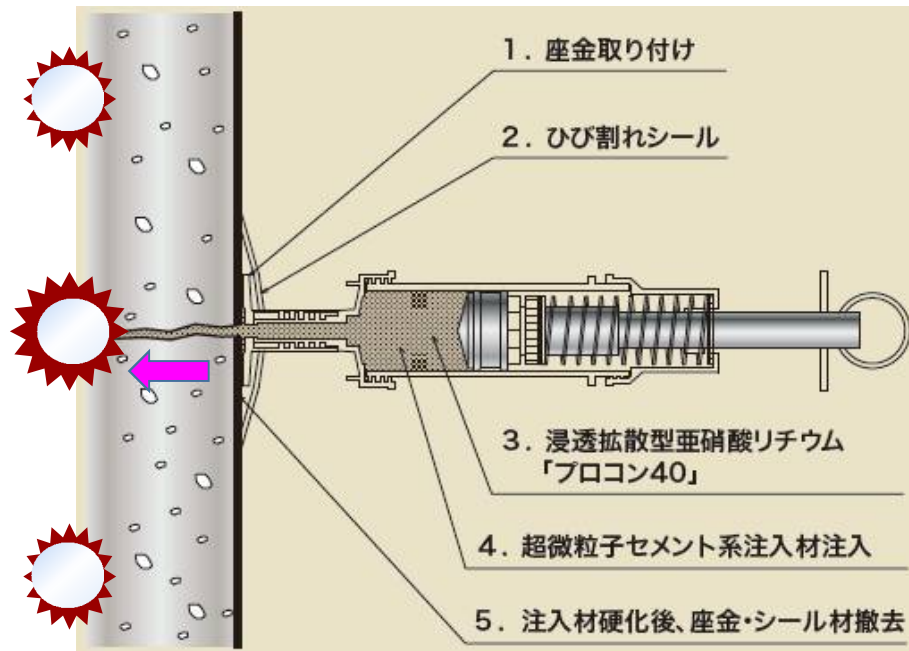
リハビリシリンダー工法

- | | |
|----|--|
| 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】 … 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



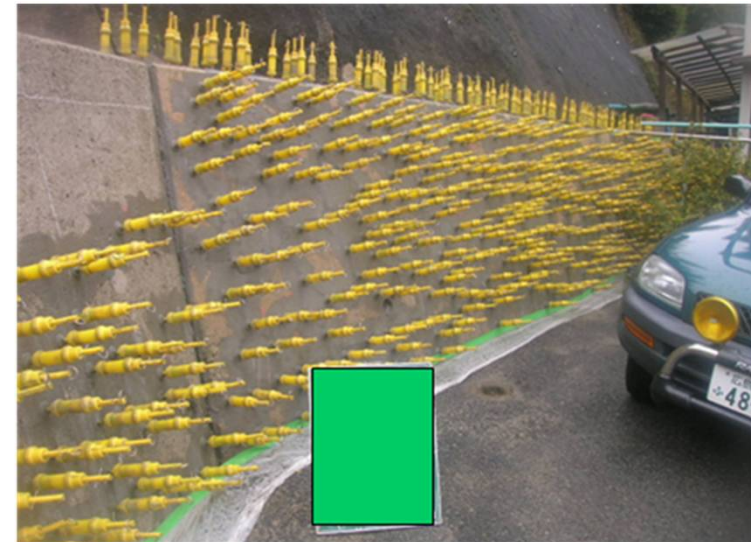
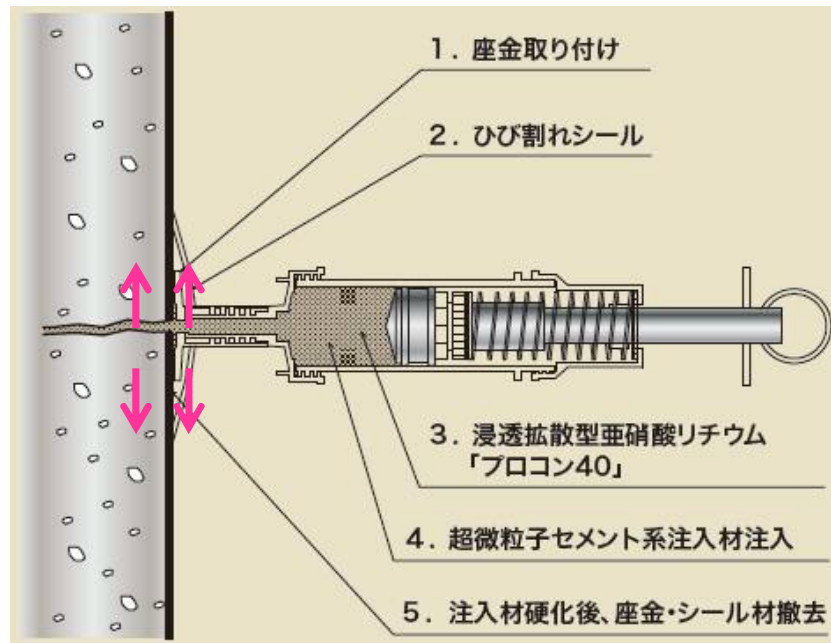
- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

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

【リハビリシリンダー工法】 … 概算工事費

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	11,200
1.0～2.0	200	100	1,400,000	14,600
2.0～5.0	300	100	2,300,000	22,500

- ・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H29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

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兆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。

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環境を形成し、以後の鉄筋腐食の進行を抑制します。

■特に塩害補修の場合には、亜硝酸イオン供給量(プロコンガードプライマー塗布量)を塩化物イオン量に応じて定量的に設定することができます。

■ASR補修の場合、プロコンガードプライマー(亜硝酸リチウム系含浸材)に含まれるリチウムイオンが浸透、拡散したコンクリート表面層では、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(不働態被膜再生)
- 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(不働態被膜再生)
- 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、断面修復材の巻着や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部注入工法の施工後に適用する場合など。

施工手順

- ①下地処理
サンダーケレン及び高圧水洗い等でコンクリート表面の塗膜層や汚れを除去する。
- ②「プロコンガードプライマー」の塗布
刷毛及びローラー等で規定量(標準塗布量0.3kg/m²)を塗布する。必要に応じて底層発生をする。
- 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。

施工の注意点

- 「プロコンガードプライマー」は規定量を必ず塗付して下さい。
- 「プロコンガードプライマー」塗布後、乾燥状態を維持して下さい。(水分率8%以下)
- 「プロコンガード」を塗布して下さい。(乾燥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。

性能試験

浸透試験 JSCE-K571-2004

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、基準値ではありません。

施工断面図

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
(けい酸リチウム系表面含浸材)

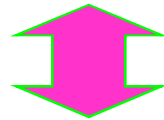
新設亜硝酸リチウムの浸透
塩害・中性化対策
亜硝酸イオンによって鉄筋の不働態被膜を再生

ASR対策
リチウムイオンによってASRゲルを非膨張化

【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】 … 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



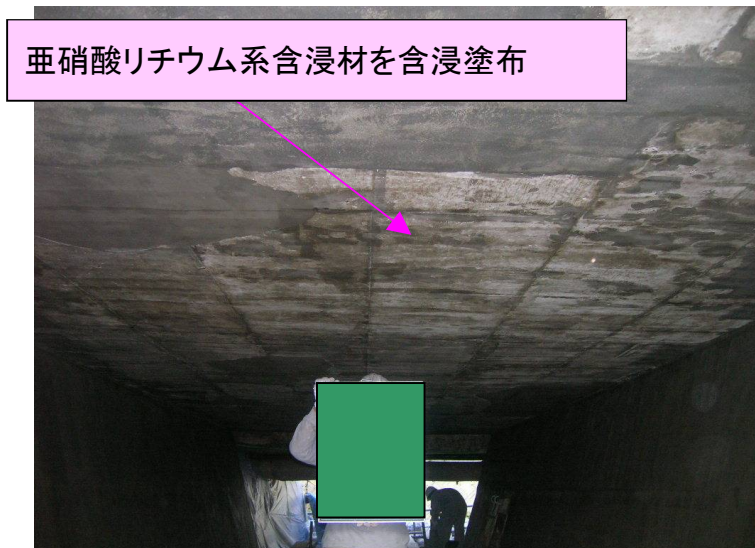
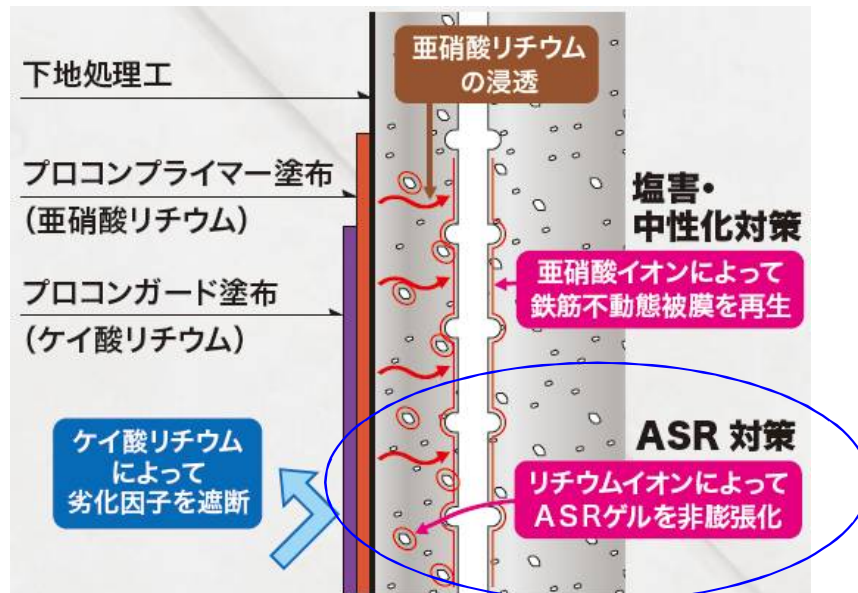
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③劣化因子の侵入を抑制するために、けい酸リチウム系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

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

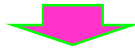
プロコンガードシステムのメリット

- ・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

白化現象は補修後のコンクリート表面の美観性を低下させるため、構造物の種類や立地条件、使用条件などによっては許容できない場合も少なくない。

【白化を許容できない対象の例】

- ・多くの人目につきやすく、景観性が重視されている構造物

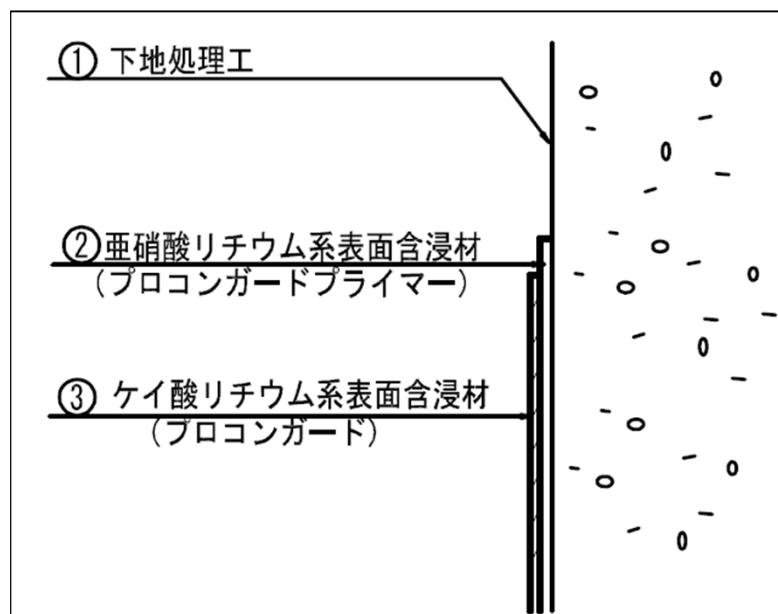
【白化する可能性が高い対象の例】

- ・亜硝酸リチウム内部圧入工を施工した後の表面保護工として適用する場合
- ・断面修復工を施工した後の表面保護工として適用する場合
- ・PC部材の表面に適用する場合

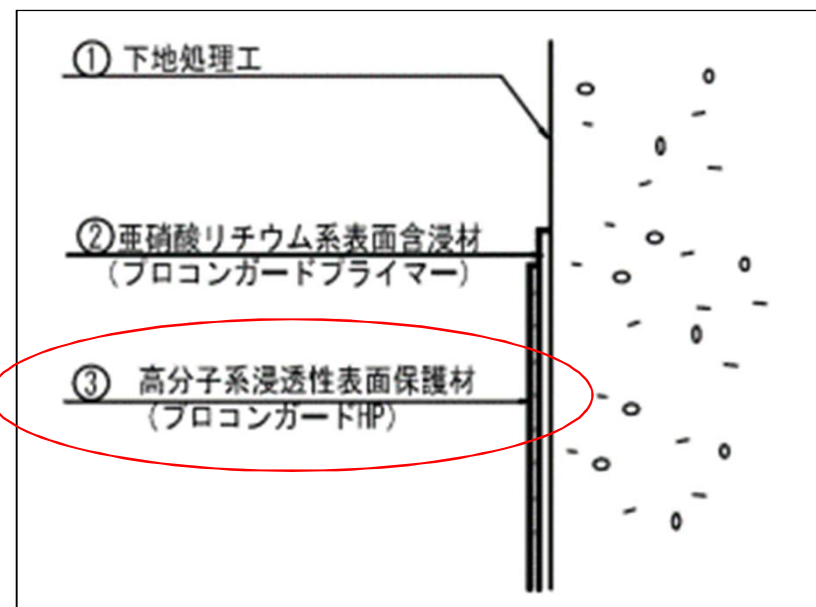
参考:プロコンガードシステム施工後の白化現象

【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

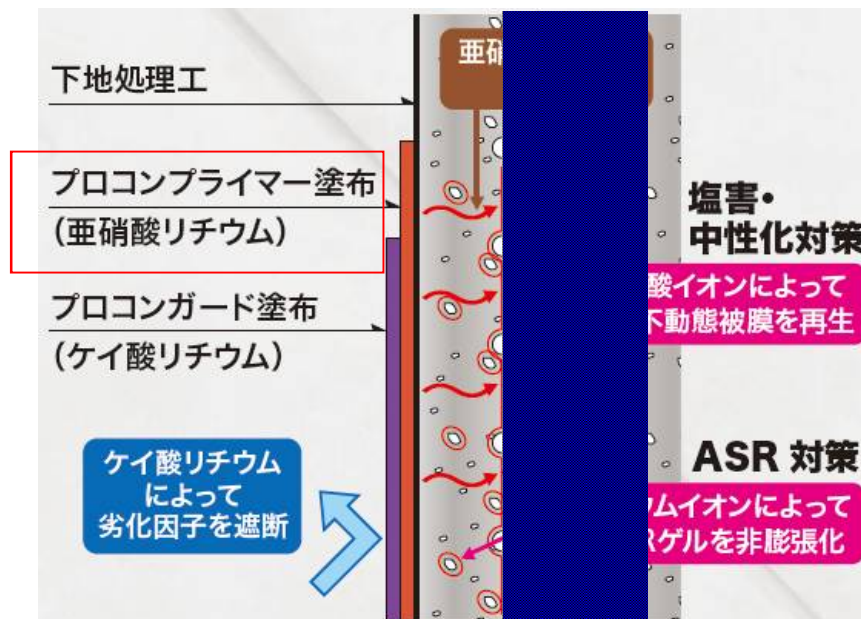


白化防止仕様のプロコンガードシステムHP

【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 : 0.6kg/m² 程度

【プロコンガードシステム】 … 亜硝酸リチウム設計塗布量

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

目標含浸深さを30mmのしたときの例

塩化物イオン 濃度 (kg/m ³)	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 ²)	0.30	0.34	0.45	0.56	0.60

【塗布可能量】

標準塗布量 : 0.3kg/m²

～

限界塗布量 : 0.6kg/m² 程度

【プロコンガードシステム】 … 概算工事費

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 ²)	けい酸リチウム系 含浸材 「プロコンガード」 塗布量(kg/m ²)	施工 面積 (m ²)	施工費 (円)	施工費 (円/m ²)
標準	0.3	0.1	100	510,000	5,100
限界	0.6	0.1	100	650,000	6,500

- ・施工規模は塗布面積100m²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H29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、塩化物イオン、酸害、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の目的は、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出来ます。そのため、特に塩害、中性化、ASRの補修対策として選んでいます。

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』（亜硝酸リチウム系表面含浸材）

【施工手順】標準仕様

1. 施工箇所を高圧洗浄またはディスクサンダー等により下地処理します。
2. 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/m²：極少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』をコテまたはローラー、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』層を保護します。

① 亜硝酸リチウム塗布

●下地処理工程終了後、コンクリート表面全体に亜硝酸リチウムを塗布する。

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

●亜硝酸リチウム塗布後、リハビリ被覆材をコンクリート表面全体に塗布する。

③ 上塗り

●リハビリ被覆材塗布後、上塗りを行う。亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル層を保護する。

④ 工事完了

●リハビリ被覆材塗布後、上塗りを行う。亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル層を保護する。

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』（亜硝酸リチウム系表面含浸材）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）塗布
- ④高分子系浸透性防水材料など

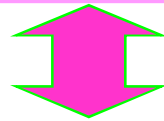
リハビリペースト・リハビリモルタル試験成績

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 ³)		2.0	2.0	4.4x16cm試験体を25℃で養生28日
圧縮強度 (N/mm ²)	1日	9.5	15.6	JIS A 1171-2000に準拠
	7日	23.7	30.9	
	28日	31.5	38.8	
曲げ強度 (N/mm ²)	1日	2.8	4.6	試験条件：標準配合、20℃±2℃封鎖養生
	7日	5.9	8.1	
	28日	7.2	9.5	
付着強さ (N/mm ²)		2.1	2.2	
硬化収縮率 (%)		-0.02	-0.02	

【リハビリ被覆工法】 … 一般工法との違い

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 |



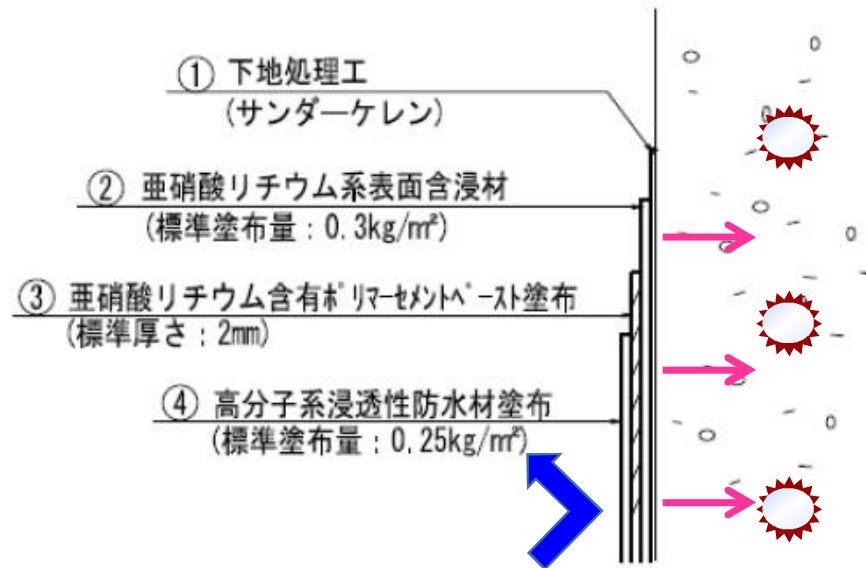
リハビリ被覆工法

- | | |
|----|---|
| 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】 … 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



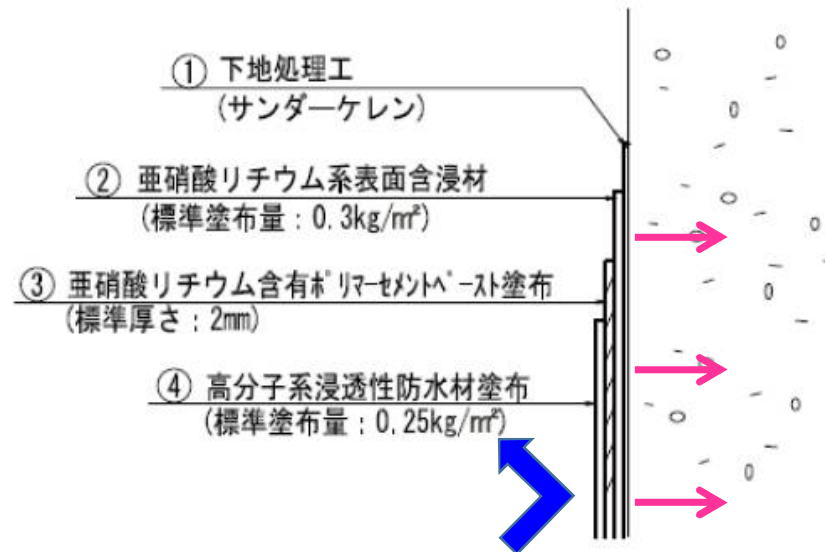
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にてコンクリート表面をコーティングする ⇒ 鉄筋防錆、劣化因子の遮断
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

鉄筋腐食抑制効果(表層部)を併せ持つ表面被覆工法

【リハビリ被覆工法】… 工法概要(ASRの補修の場合)

基本性能 『表面被覆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 ⇒ 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

ASR膨張抑制効果(表層部)を併せ持つ表面被覆工法

【リハビリ被覆工法】 … メリットとデメリット

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

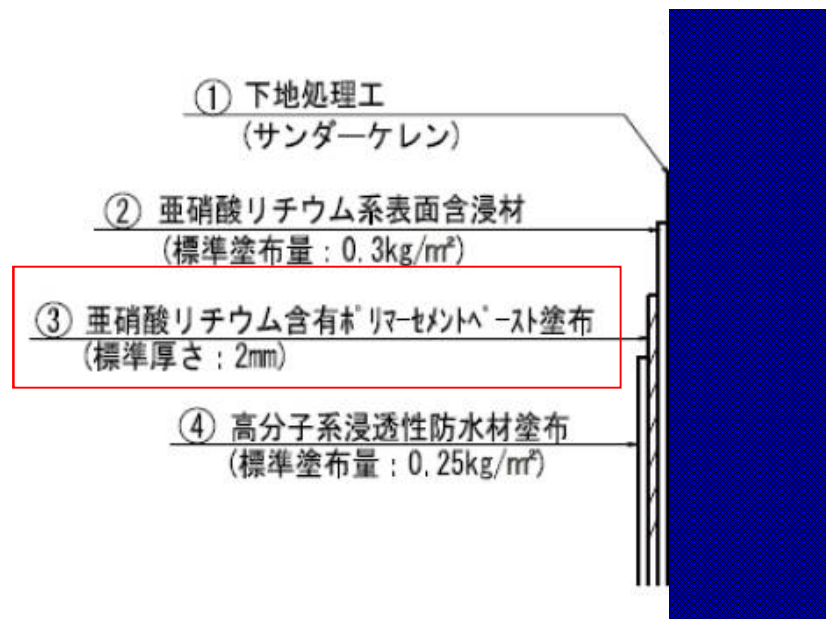
リハビリ被覆工法の適用限界

- ・**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。

【リハビリ被覆工法】 … 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】

標準塗布厚さ : t=2mm

~

限界塗布厚さ : t=5mm程度

【リハビリ被覆工法】 … 亜硝酸リチウム設計塗布量

塩化物イオン濃度に応じた亜硝酸リチウム含有ペーストの塗布厚さの算定

目標含浸深さを50mmとした場合の例

塩化物イオン 濃度 (kg/m ³)	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

【塗布可能量】

標準塗布厚さ : $t=2\text{mm}$
~

限界塗布厚さ : $t=5\text{mm}$ 程度

【リハビリ被覆工法】 … 概算工事費

概算工事費の例

	仕様(標準)	塗布量	施工面積 (m ²)	施工費 (円)	施工費 (円/m ²)
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 ²	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 ² (t=2mm)			
3層目	高分子系浸透性防水材 『アイゾールEX』	0.25kg/m ²			

- ・施工規模は塗布面積100m²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H29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。悪化物質イオン量・アルカリ総量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・漏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採用する場合、まず、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・漏式吹付工法による断面修復
断面修復材：断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液『PSL-40』含有ポリマーセメントモルタル
鉄筋防錆材：『プロコンガードプライマー』（亜硝酸リチウム系表面塗布材）
『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。（適分量によって混合量を調整する。）

物性例					
試験項目	材種	亜硝酸リチウム20%水溶液	亜硝酸リチウム55%水溶液	備考	
圧縮強度 (N/mm ²)	1日	21.4	20.3	40×40×160mm 試験体	
	7日	47.2	42.6		
	28日	60.3	57.2		
曲げ強度 (N/mm ²)	1日	4.7	4.7	40×40×160mm 試験体	
	7日	8.5	8.3		
	28日	9.4	9.3		
長さ変化率 (×10 ⁻⁴)	28日	-4.3	-4.7	40×40×160mm 試験体20℃、60%RH	
	保湿中性化深さ (mm)	28日	0		0

※試験例であり、保証値ではありません。
※リハビリペーストSPKPSL-40を注入した、物性値です。

【特長】
●施工前は、床面（床）の一部に鉄筋露出が確認されています。
●施工後は、鉄筋露出がなくなり、鉄筋の腐食が抑制されています。
●施工後は、鉄筋の腐食が抑制されています。

【施工仕様】
●鉄筋の腐食を抑制するための、亜硝酸リチウム40%水溶液を注入したリハビリペーストを鉄筋表面に塗布する。

【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。（適分量によって混合量を調整する。）

① 着工前、劣化の状況

② はつり完了

③ 鉄筋クレン

④ 鉄筋防錆材塗布

⑤ 断面修復

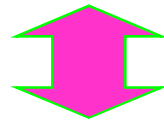
⑥ 断面修復完了

施工概要

【リハビリ断面修復工法】 … 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

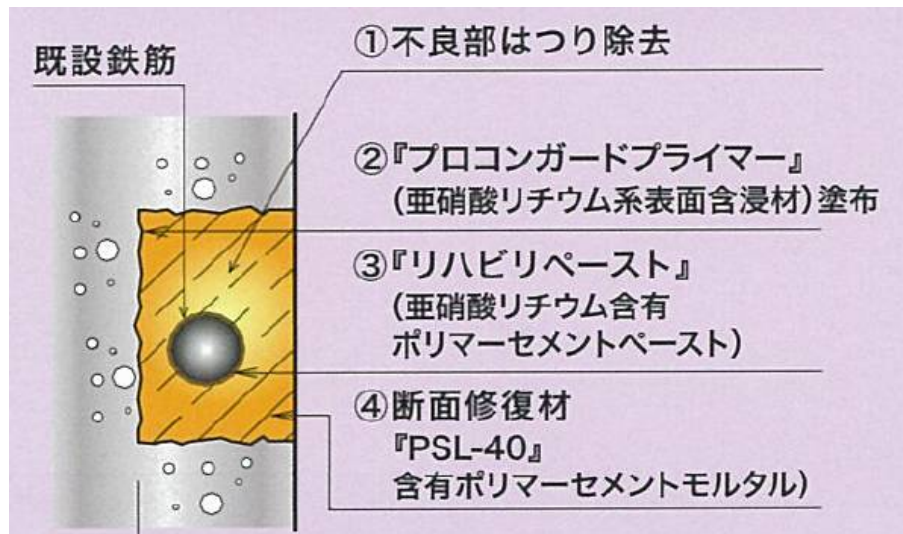


リハビリ断面修復工法

- 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』およびそれに伴う『内部の塩化物イオンの除去』
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。

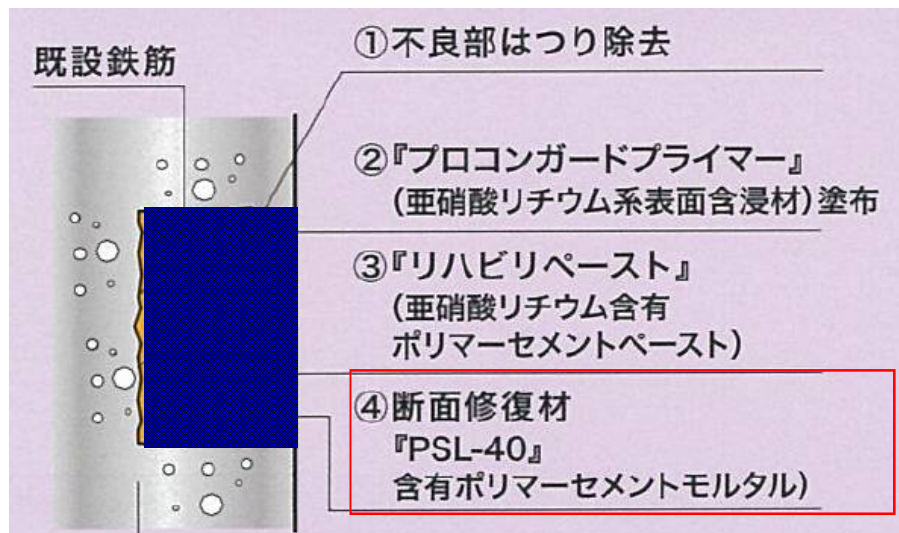


リハビリ断面修復工法と他工法とを組み合わせた**総合的な補修**

【リハビリ断面修復工法】 … 亜硝酸リチウム設計混入量

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
 $[\text{NO}_2^-] / [\text{Cl}^-]$ 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/m³程度

【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

【リハビリ断面修復工法】 … 概算工事費

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10m²、はつり深さ50mm、延べ施工量0.5m³

塩化物イオン 濃度 (kg/m ³)	混入用亜硝酸リチウム 「PSL-40」混入量 (kg/m ³)	施工面積 (m ²)	施工費 (円/m ²)
3.0	11.3	1	119,500
5.0	18.8	1	121,400
10.0	37.3	1	125,800

- ・国土交通省標準歩掛による材工の直接工事費
- ・労務費はH29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、酸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、大規模施工用の高圧式圧入装置『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厚の小さな構造物の補修や断端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』
 和 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: 削孔径はφ10mm
 削孔間隔は500mmを標準とする
 (部材寸法や構造規模に応じて決定)
 削孔深さは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圧入孔を削孔します。
4. リハビリカプセル、コンプレッサーを設置します。
5. 全圧入孔に対し本高圧注入機を行い、『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

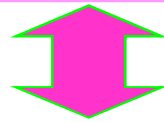
リハビリカプセル

コンプレッサー

【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

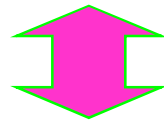
該当なし



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

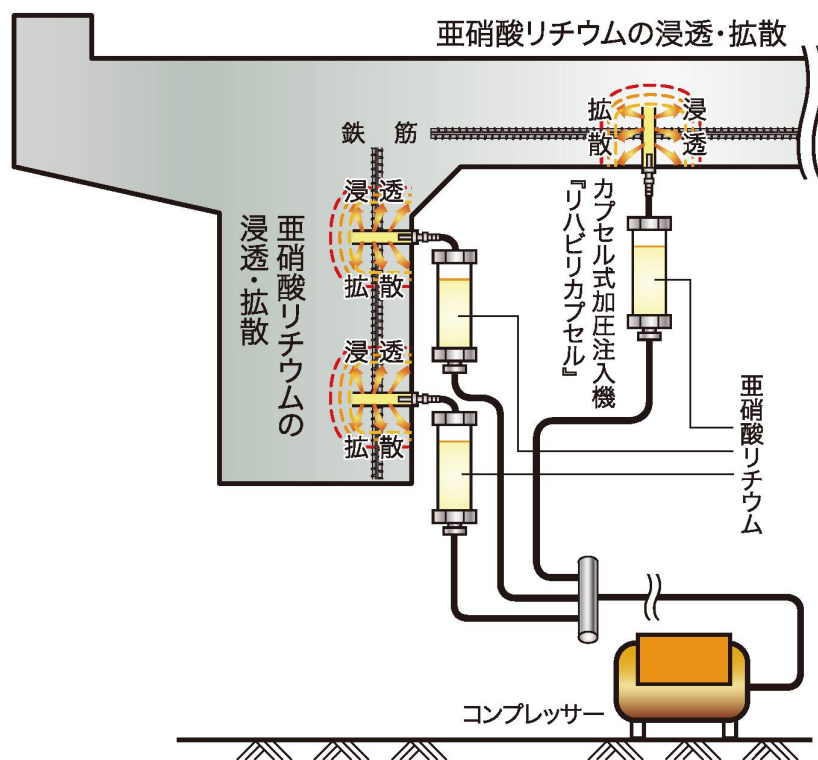
電気防食工法

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。



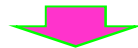
- ・腐食発生限界を超える塩化物イオン存在下でも鉄筋を腐食させない。

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。

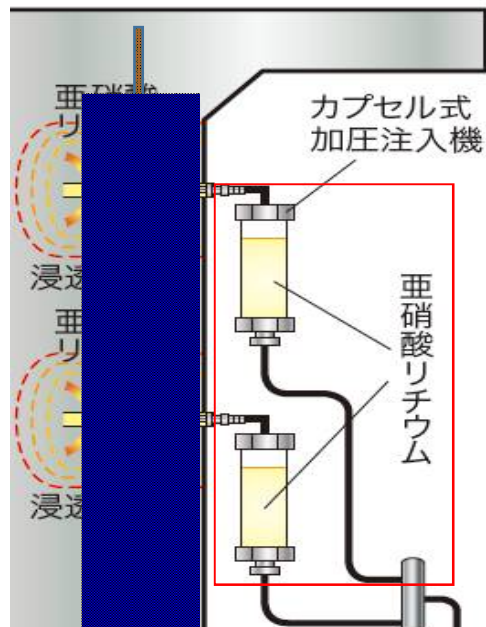


リハビリ断面修復工法とリハビリカプセル工法とを組み合わせた総合的な塩害補修

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



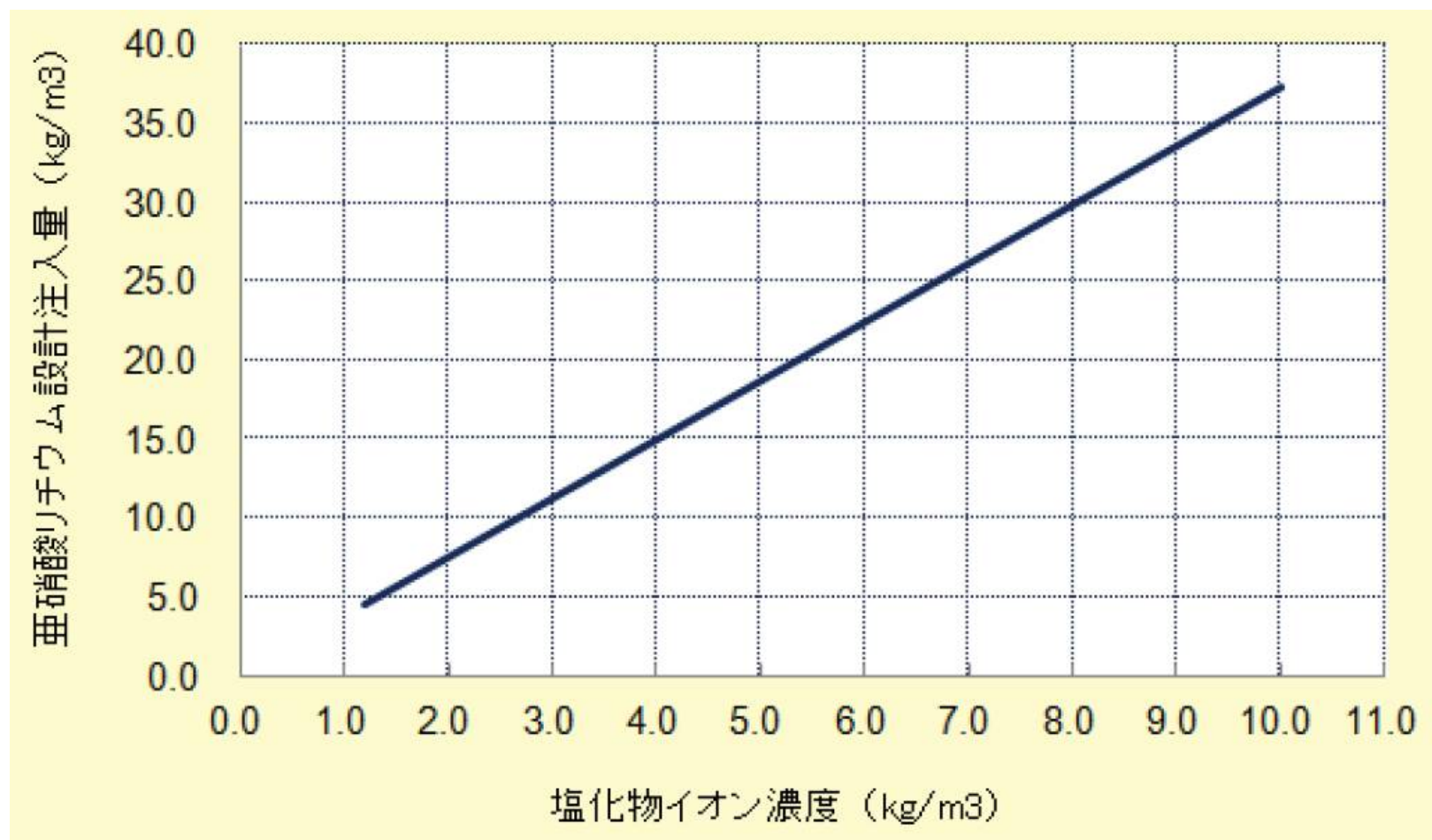
【設計上の仮定】

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



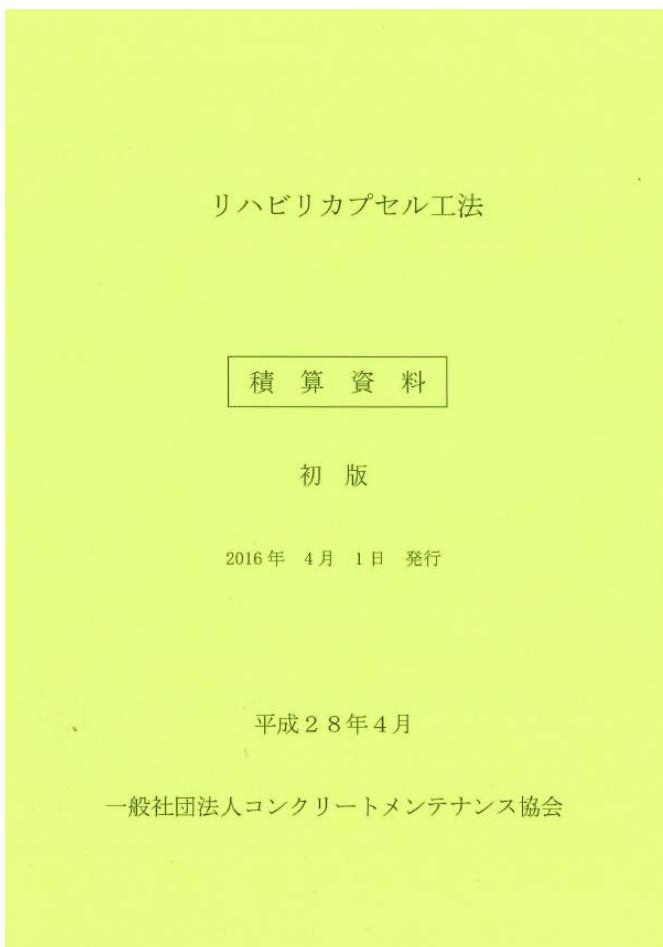
塩化物イオン濃度と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

【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。

【リハビリカプセル工法】 … 概算工事費



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	$20 \times \alpha$	
特 殊 作 業 員		人	$80 \times \alpha$	
普 通 作 業 員		人	$40 \times \alpha$	
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. α 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 (α)

圧縮強度 (N/mm ²)	$10 \leq \sigma_c < 20$	$20 \leq \sigma_c < 30$	$30 \leq \sigma_c < 40$
α	0.90	1.00	1.20

2) 圧入孔数 400 孔未満

表 4.8.4 圧入歩掛

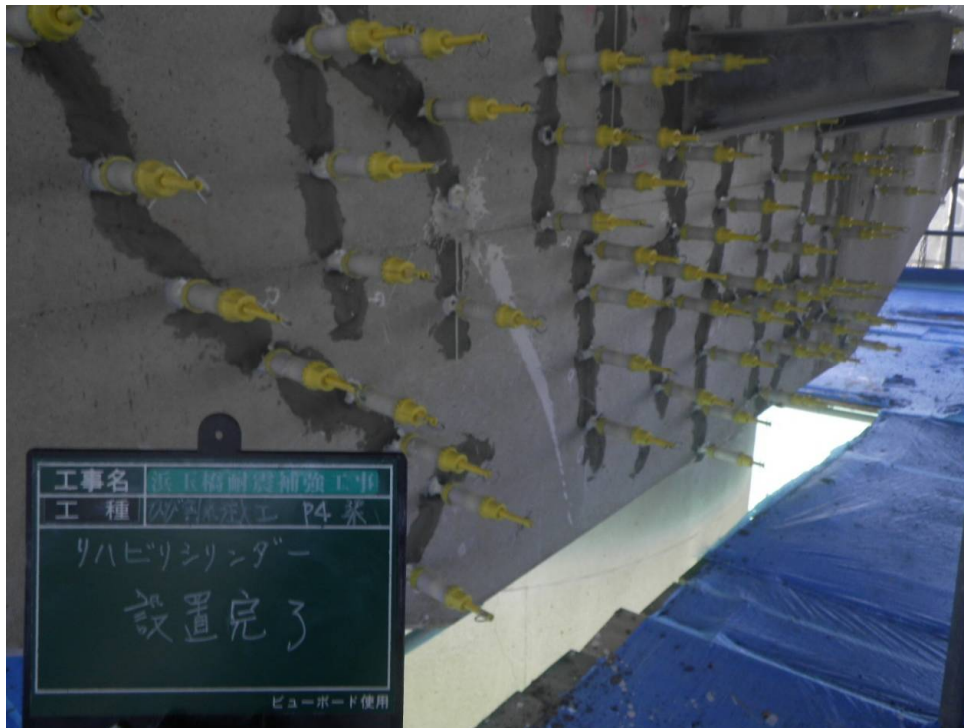
※ (圧入孔数当り)

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
土 木 一 般 世 話 役		人	$20 \times \alpha$	
特 殊 作 業 員		人	$80 \times \alpha$	
普 通 作 業 員		人	$40 \times \alpha$	
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. α 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。

【リハビリカプセル工法の施工手順】



①表面漏出防止(ひび割れ注入)

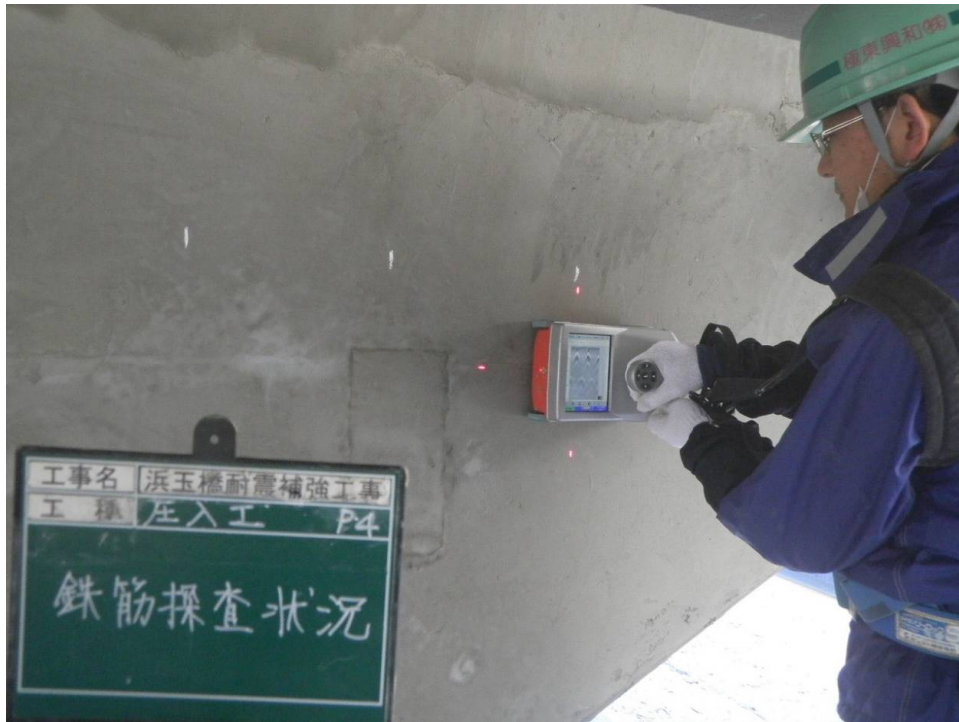
コンクリート表面からの漏出防止として、ひび割れ注入工を実施する(幅0.2mm以上)



②表面漏出防止(表面シール)

同様に、幅0.2mm未満のひび割れやジャンカ等に対し、表面シールを行う

【リハビリカプセル工法の施工手順】



③鉄筋探索工

圧入孔の削孔時に鉄筋を損傷させることのないよう、事前に鉄筋探索を行う



④圧入孔削孔

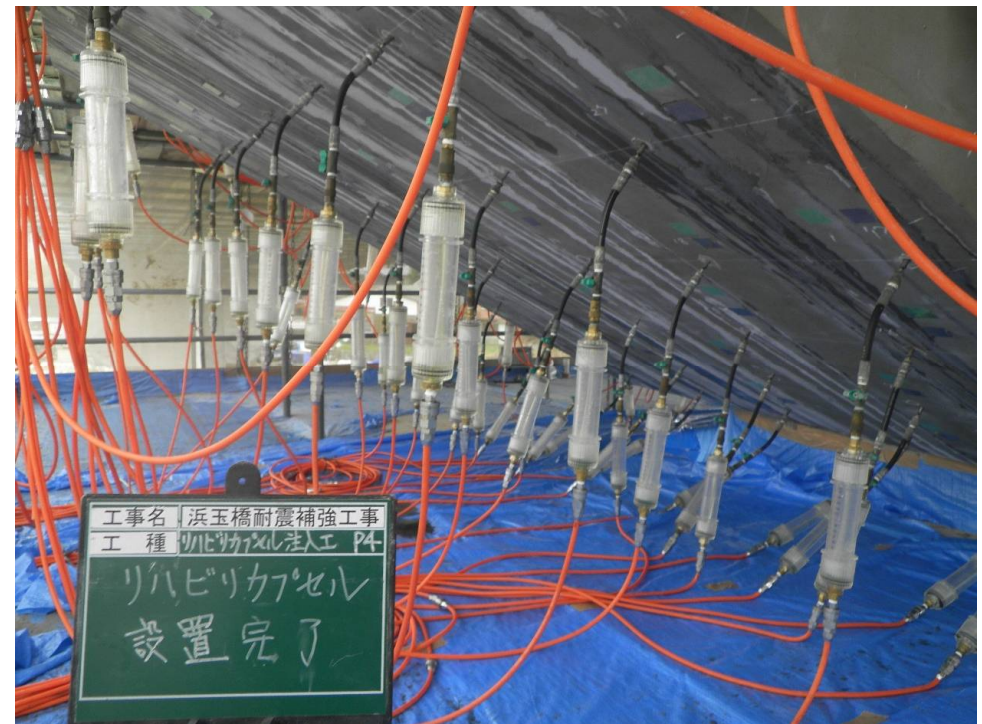
圧入孔として $\phi 10\text{mm}$ のコア削孔を行う。本橋では削孔ピッチを500mm間隔とした。

【リハビリカプセル工法の施工手順】



⑤リハビリカプセル設置工

圧入孔に加圧パッカー、リハビリカプセルを設置する



⑥配管工

リハビリカプセルとコンプレッサーとの間を耐圧ホースで接続する

【リハビリカプセル工法の施工手順】



⑦本注入工

リハビリカプセルに所定量の亜硝酸リチウムを充填し、
本注入をおこなう



⑧圧入孔充填工

圧入完了後、配管を撤去し、エポキシ樹脂にて圧入
孔を充填する

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: 増孔径はφ10mmまたはφ20mm(増孔深さに応じて決定)
増孔間隔は500mm～1,000mm(部材寸法や構造形態に応じて決定)
増孔深さは300mm～1,000mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはアビ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リングを行い、圧入時の『プロコン40』の漏れを防ぎます。
3. 鉄筋位置を行った後に圧入孔を開孔します。
4. リハビリ圧入機、制圧ホース、加圧バックスを設置します。
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(JCS-DD2法)の例

施工事例

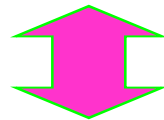
構内のASR補修事例 橋脚(はり型)のASR補修事例 養護のASR補修事例 大倉貯水塔によるASR抑制効果検証結果

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

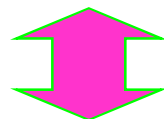
該当なし



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）



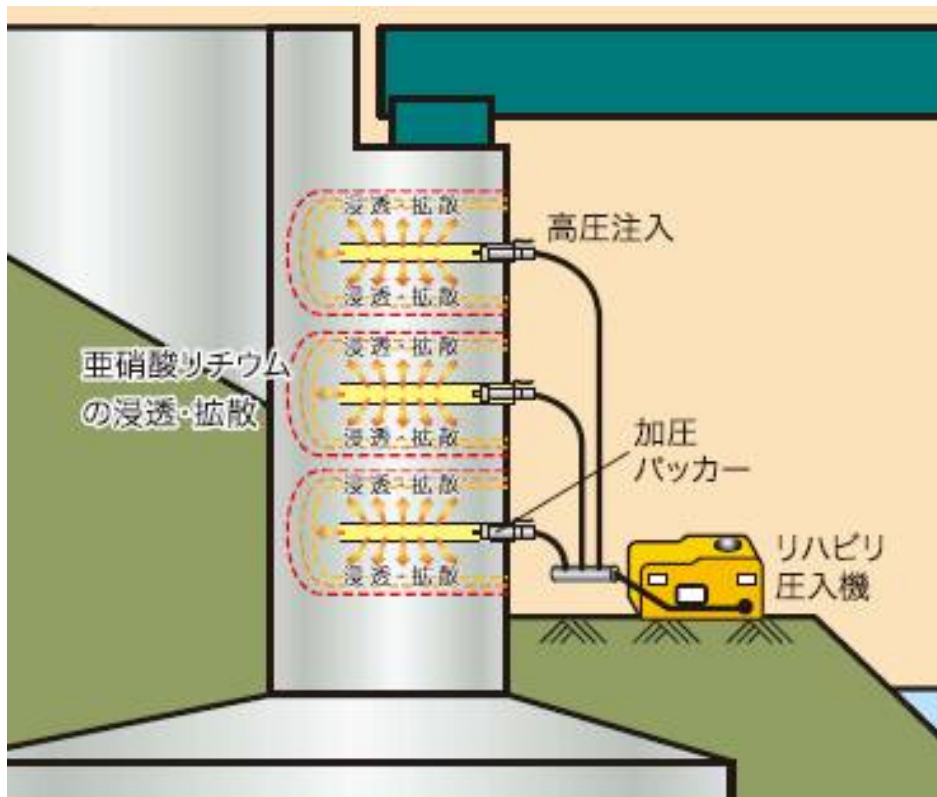
根本的なASR膨張抑制という
同じ目的で適用される工法

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

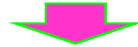
【ASRリチウム工法】 … 工法概要 (ASRの補修の場合)



【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

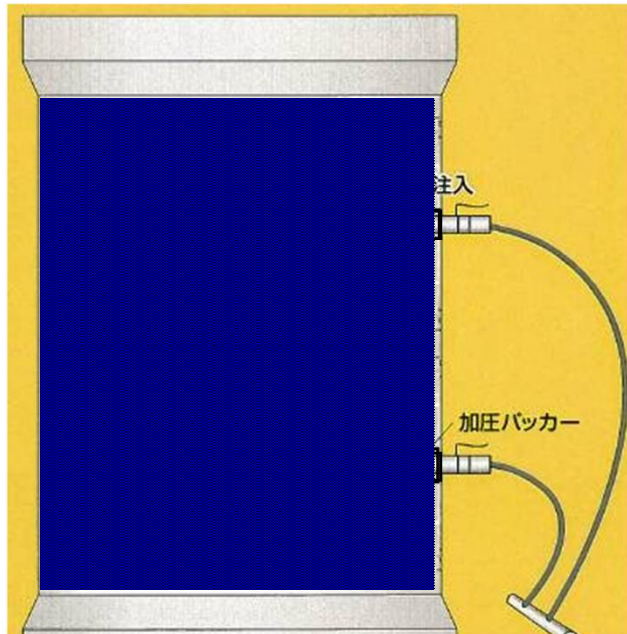
ASRリチウム工法の適用限界

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



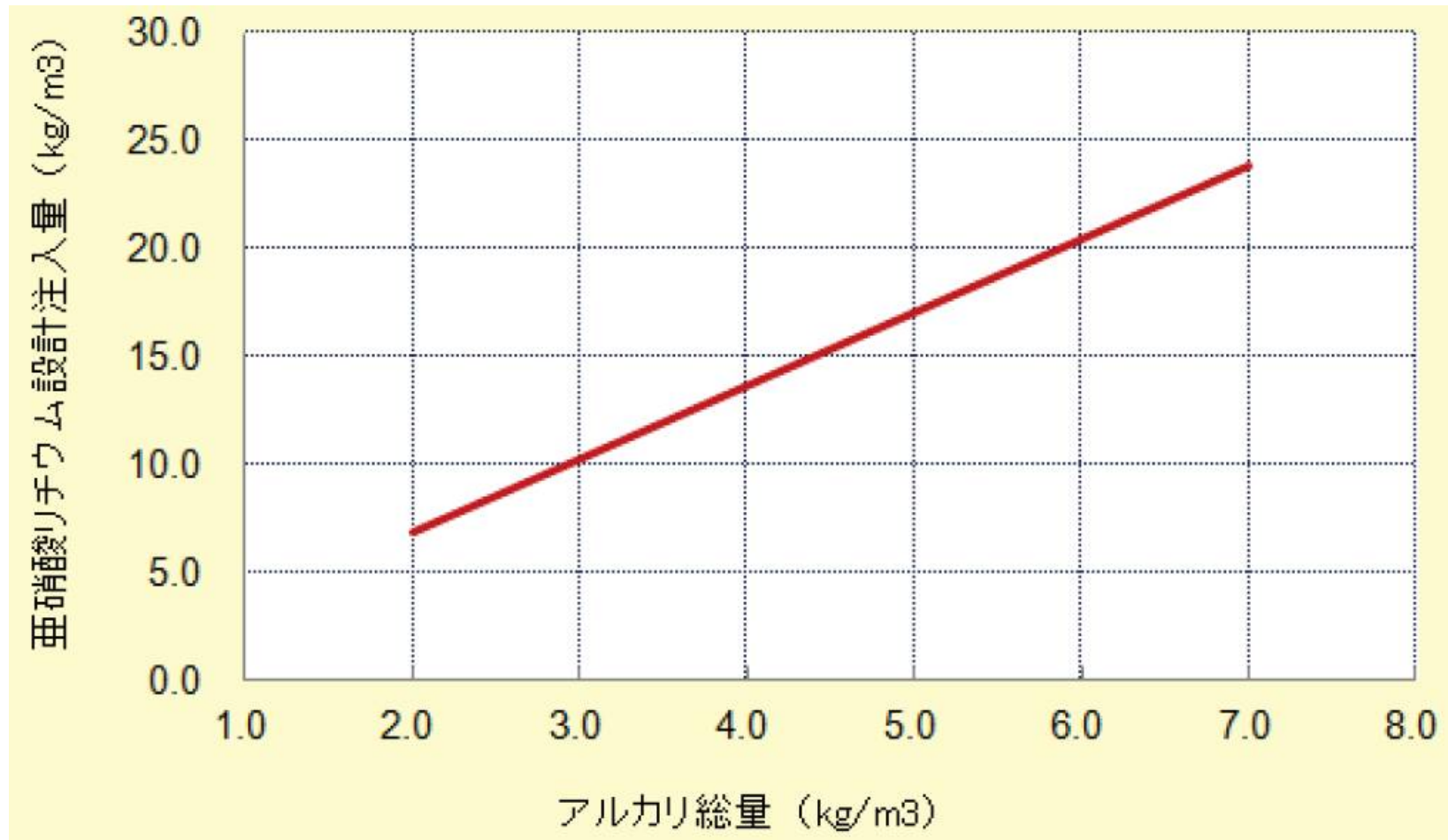
【設計上の仮定】

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】

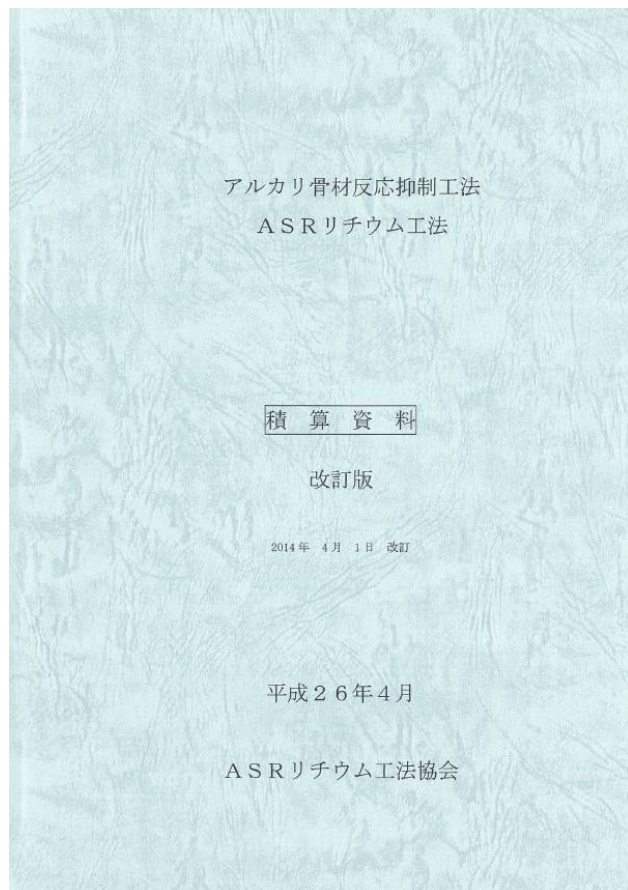
限界圧入量 : 37kg/m^3 程度
(アルカリ総量 11kg/m^3 相当)

【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

【ASRリチウム工法】 … 概算工事費



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. α 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 (α)

種別	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)			
	$10 \leq \sigma_c < 20$	$20 \leq \sigma_c < 30$	$30 \leq \sigma_c < 40$	$40 \leq \sigma_c < 50$
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。

【ASRリチウム工法 施工手順】



①表面漏出防止（ひび割れ注入）

コンクリート表面からの漏出防止として、ひび割れ注入工を実施する（幅0.2mm以上）



②表面漏出防止（表面シール）

同様に、幅0.2mm未満のひび割れやジャンカ等に対し、表面シールを行う

【ASRリチウム工法 施工手順】



③鉄筋探査工

圧入孔の削孔時に鉄筋を損傷させることのないよう、事前に鉄筋探査を行う



④圧入孔削孔

圧入孔としてφ20mmのコア削孔を行う。本橋では削孔ピッチを750mm間隔とした。

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑤配管工

圧入孔に加圧パッカー，耐圧ホース，分配器をつなぎ，圧入装置まで配管する



⑥圧入装置の設置

油圧式圧入装置を必要台数設置する
橋脚1基につき圧入装置1台

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑦試験加圧注入工

全孔を1孔ずつ試験的に加圧注入する
背面への漏出など不適切な孔を検出する
各孔の圧入速度を測定する



⑧本加圧注入工

所定量の浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート部材
全体に加圧注入する

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑨圧入孔充填工

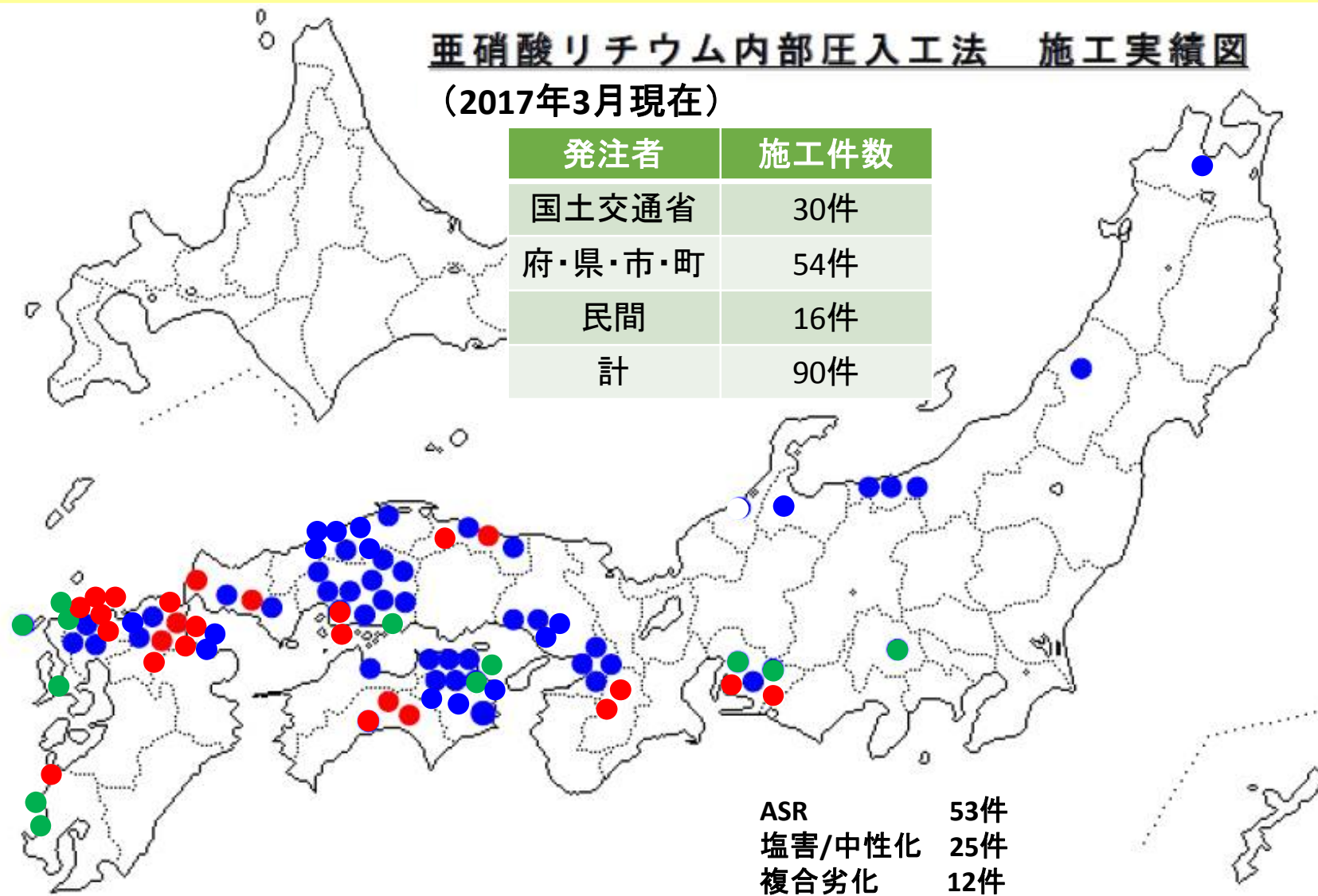
圧入完了後、配管を撤去し、無収縮グラウト材にて圧入孔を充填する



⑩表面仕上げ工

コンクリート表面に表面含浸材もしくは表面被覆材を塗布し、仕上げる
本橋では高分子系浸透性防水材を塗布した

【亜硝酸リチウム内部圧入工 施工実績】



3. 亜硝酸リチウムを用いた 補修工法の選定の考え方

【亜硝酸リチウムを用いた補修工法の選定の考え方】

表 2-1 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

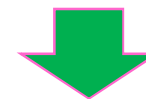
構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以下。
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始。
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生、錆汁が見られる。
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生、腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的なはく離・はく落が見られる、鋼材の著しい断面減少は見られない。
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模なはく離・はく落が見られる、鋼材の著しい断面減少が見られる、変位・たわみが大きい。

出典:「2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編] 土木学会」

各劣化過程では何が起きているのか？



次の劣化過程に進行させないためには何をすればよいのか？



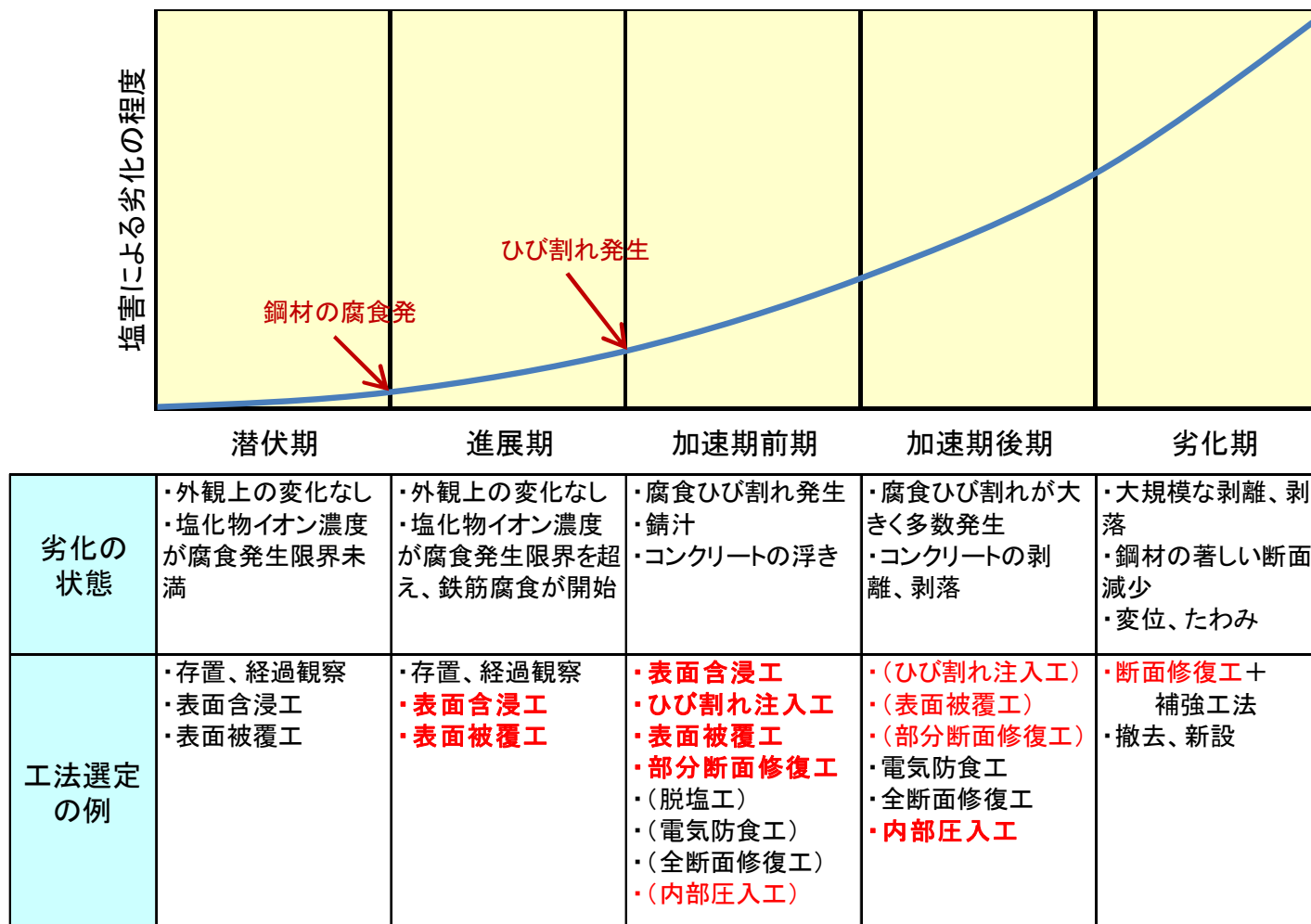
そのために亜硝酸リチウムをどう活用する？

表 2-3 ASR による構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	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、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる。しかし、鋼材腐食による錆汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASR による膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食による錆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、かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。鋼材腐食が進行し錆汁が見られる。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:「2013 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]」

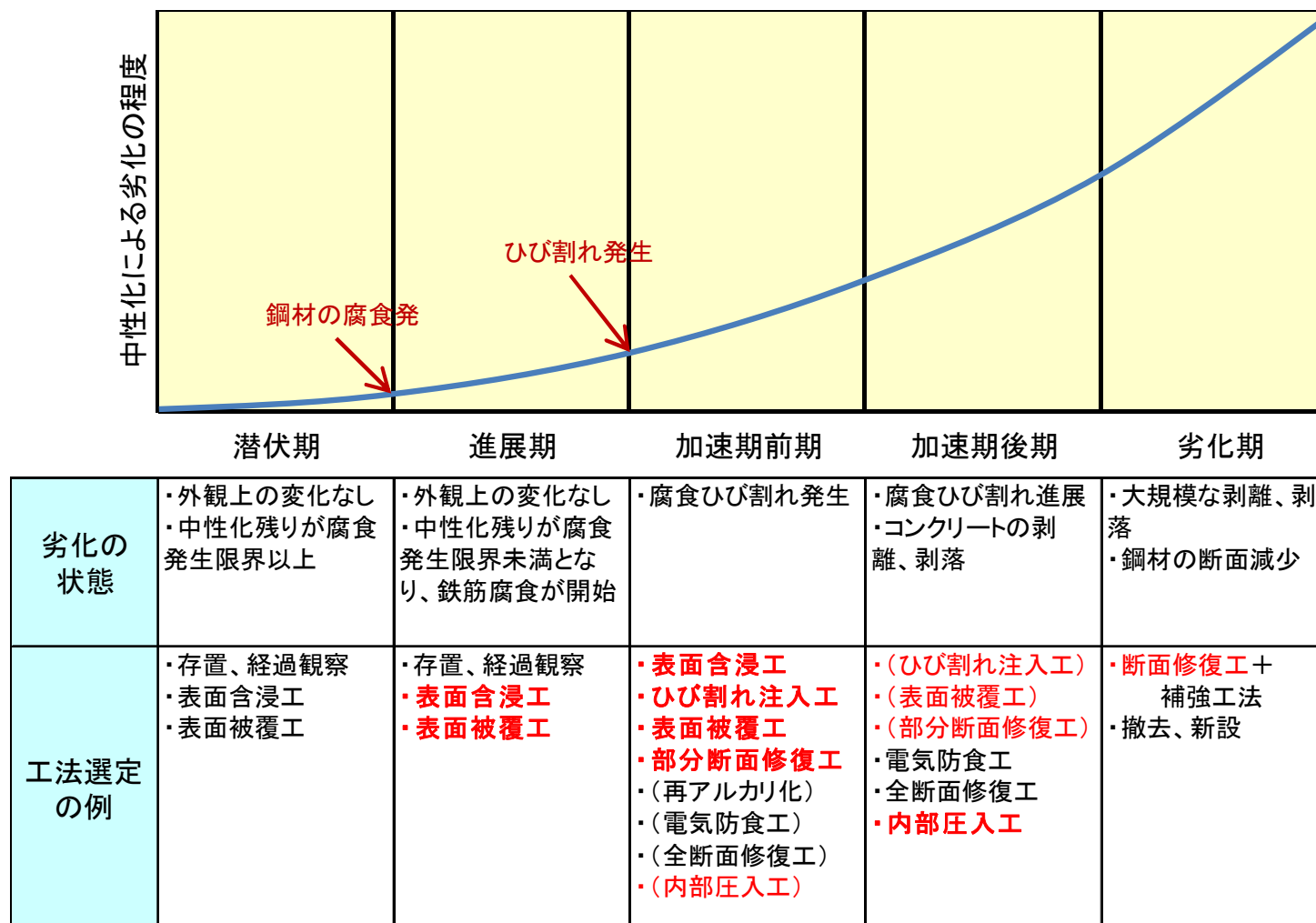
【塩害の劣化グレードと適用可能な補修工法との関係】



※ 赤文字は亜硝酸リチウムを併用できる工法を示す

※ ()内は維持管理シナリオによって選択される可能性のある工法を示す

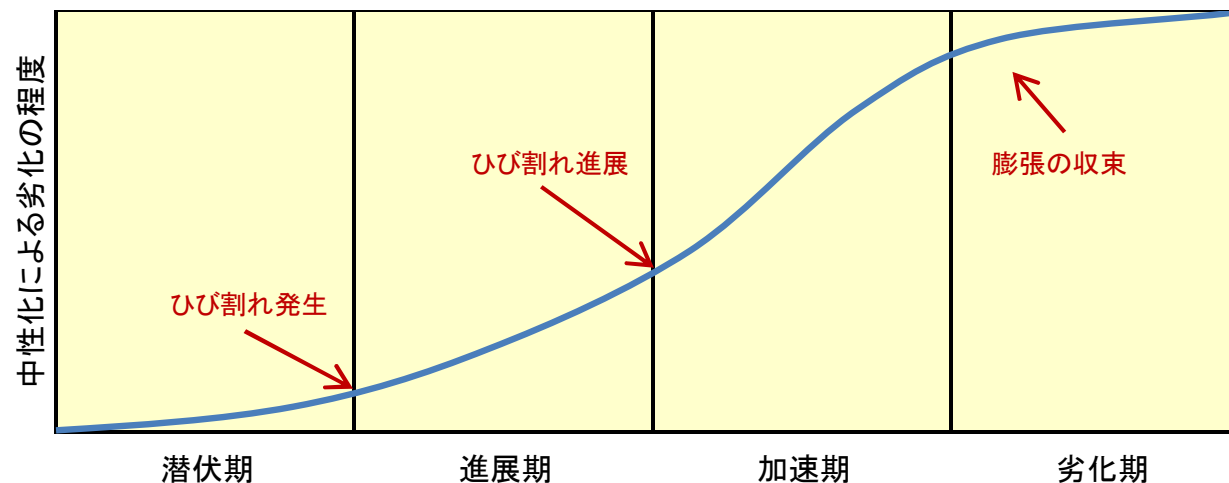
【中性化の劣化グレードと適用可能な補修工法との関係】



※ 赤文字は亜硝酸リチウムを併用できる工法を示す

※ ()内は維持管理シナリオによって選択される可能性のある工法を示す

【ASRの劣化グレードと適用可能な補修工法との関係】

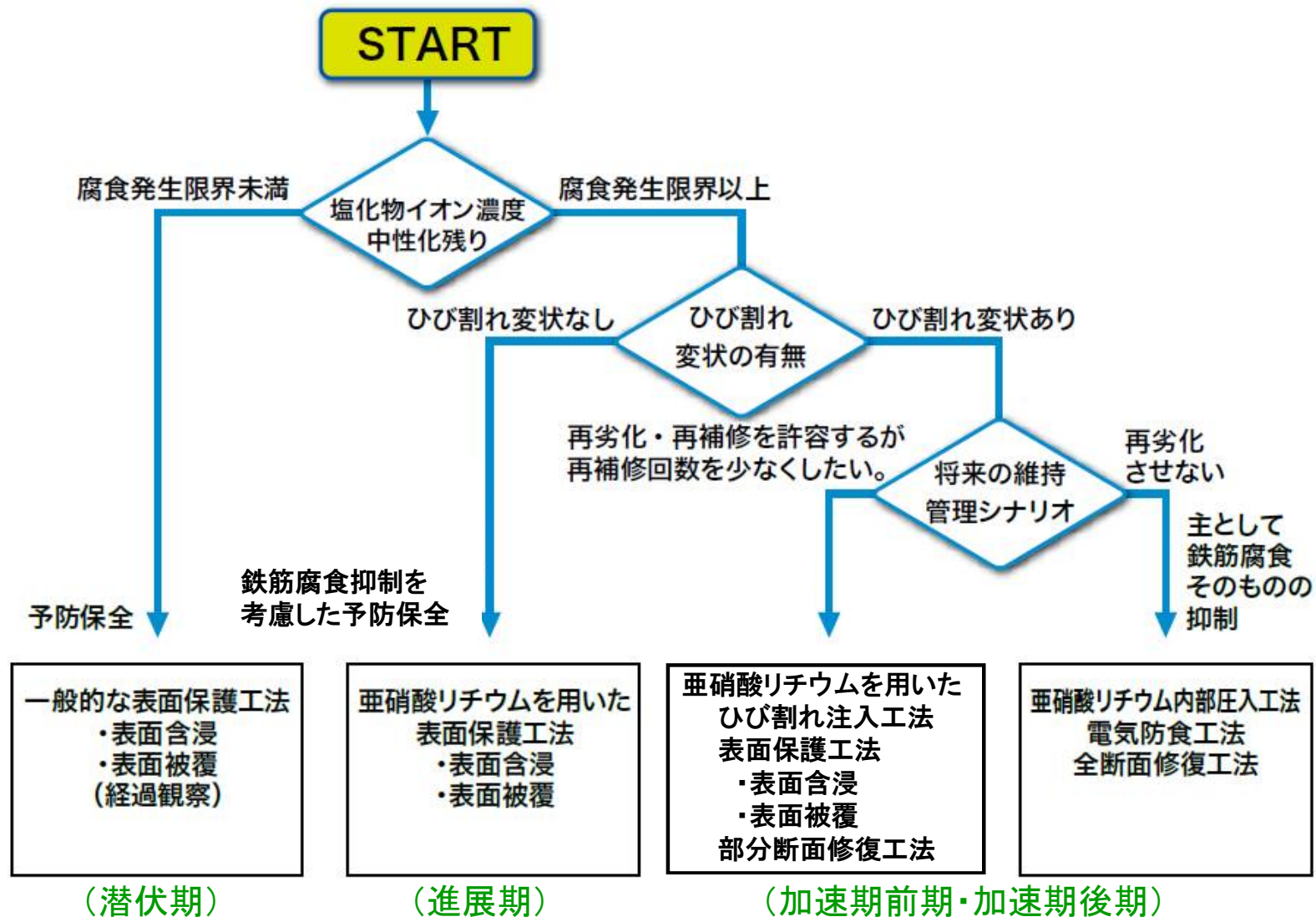


劣化の状態	・外観上の変化なし	・膨張ひび割れ発生	・膨張ひび割れ進展 ・ゲル滲出 ・強度、弾性係数の低下 ・鋼材腐食による錆汁	・膨張ひび割れ増大 ・ずれ、段差 ・強度、弾性係数の著しい低下 ・剥離、剥落 ・鉄筋破断 ・変位、変形
工法選定の例	・水処理 ・存置、経過観察 ・表面含浸工 ・表面被覆工	・水処理 ・（存置、経過観察） ・表面含浸工 ・表面被覆工 ・ひび割れ注工 ・内部圧入工	・水処理 ・表面被覆工 ・ひび割れ注工 ・内部圧入工 ・補強による膨張拘束	・水処理 ・表面被覆工 ・ひび割れ注工 ・断面修復 ・耐力回復の補強 ・鉄筋破断箇所の補修

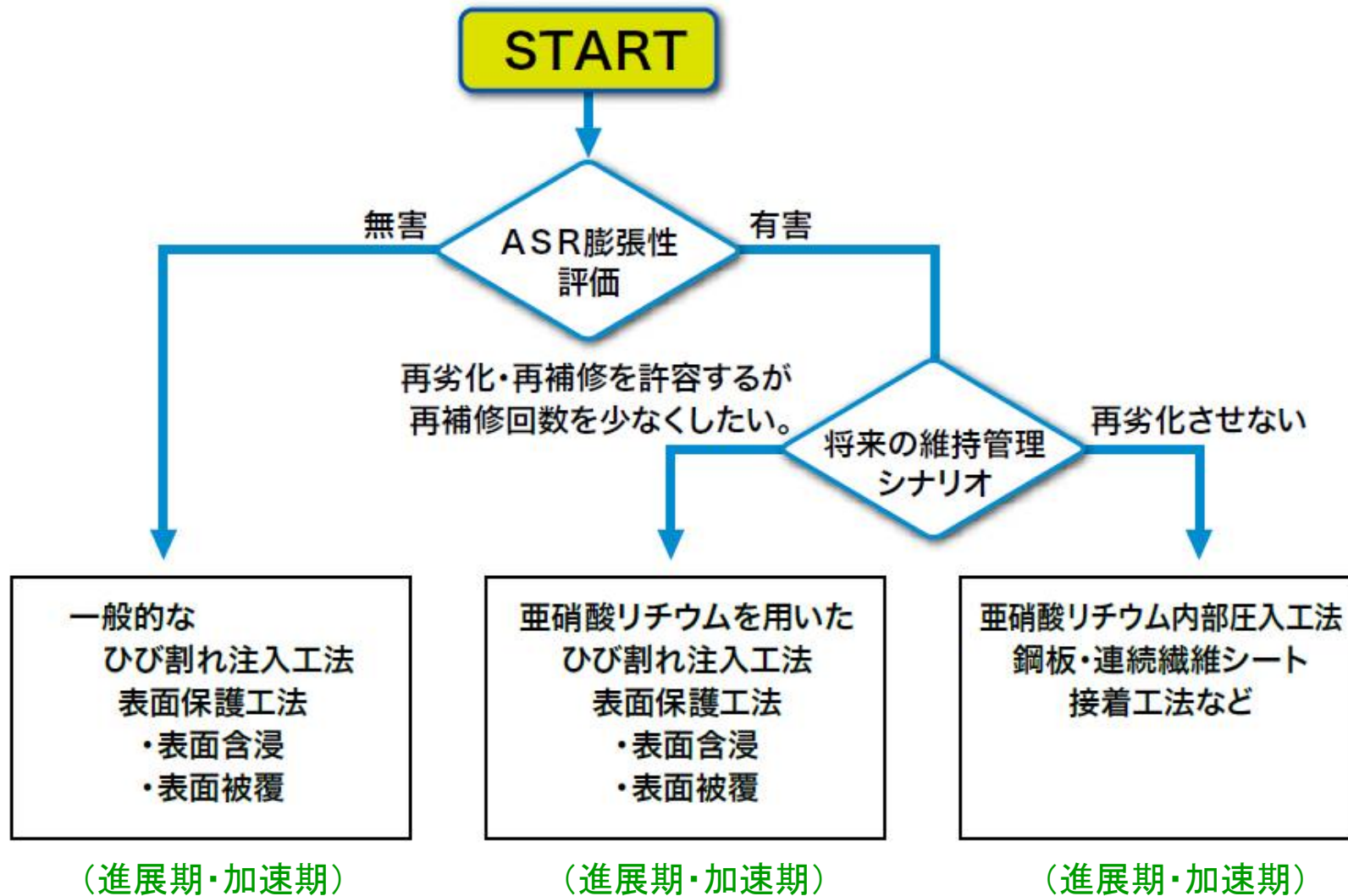
※ 赤文字は亜硝酸リチウムを併用できる工法を示す

※ ()内は維持管理シナリオによって選択される可能性のある工法を示す

【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

- コンクリートは安価で優れた構造材料として社会資本の根幹を成す
- 多くのコンクリート構造物は高齢化が進んでいるのが現状
- 適切な維持管理によって構造物の長寿命化を図ることが急務
- 亜硝酸リチウムを用いた補修技術を正しく適用することによって、定量的かつ効果的な補修効果を発揮することが期待できる



『長寿命化による持続可能な社会の形成』

ご清聴ありがとうございました

END