

## 【第2部】

# 『劣化機構、劣化程度に応じたリハビリ工法の 定量的な設計方法とその組み合わせ』

～具体的な補修設計と期待される効果について～

---

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

江良和徳

## 第2部 講演内容

### 3. リハビリ工法の定量的な設計方法

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』

### 4. リハビリ工法による定量的かつ主体的な補修

リハビリ工法による塩害補修

潜伏期・進展期・加速期・劣化期

リハビリ工法によるASR補修

潜伏期・進展期・加速期・劣化期

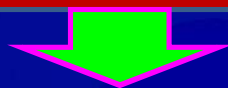
# 3. リハビリ工法の定量的な設計方法

# コンクリート構造物の補修は定量的に行うべき

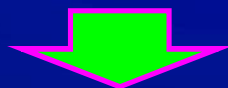
## 【定量的とは】

例えば、

- ・塩害による鉄筋露出が生じている ⇒ 断面修復
- ・ASRによるひび割れが生じている ⇒ ひび割れ注入＋表面含浸



これらは決して間違った判断ではない。選択肢としてはあり得る。  
ただ、これらの判断は定量的であると言えるか？  
この対策工法で十分か否かの根拠はあるか？  
原因と程度によって、補修工法に要求される性能が変化する。



重要なのは、

『定量的な調査診断結果に基づいた要求性能の設定』  
と、それを根拠とした工法選定。

# 3. 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狭小なひび割れにも浸透し、緻密な硬化体を形成します。また、超微粒子セメント系注入材に先立って浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を先行注入することによってひび割れ内部の湿潤状態が長期持続し、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紙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



閉塞状態確認



プロコン40先行注入状況



超微粒子セメント系注入材注入状況

**施工仕様**

注 入 装置: 自動低圧注入器『リハビリシリンダー』  
注 入 材: 超微粒子セメント系ひび割れ注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』  
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**



# 【リハビリシリンダー工法の補修数量算出】

## 必要な調査項目

- ・ひび割れ幅、ひび割れ延長、ひび割れ深さ
- ・遊離石灰の有無

## 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の注入量

- ・平均ひび割れ幅 × 深さ × 延長 × 密度 (×ロス率※)
- ・密度 = 1250kg/m<sup>3</sup>    ロス率 = 30%



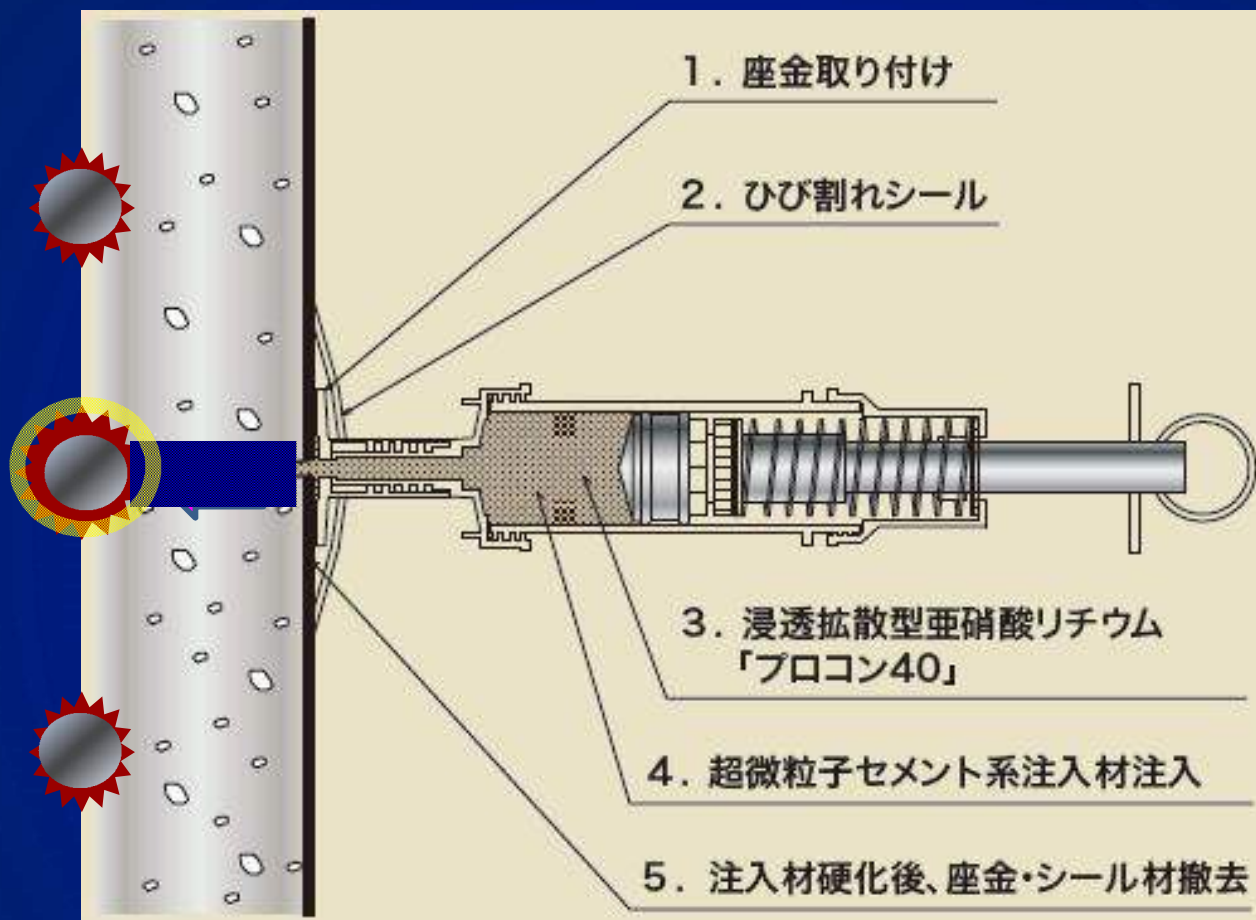
- ・ひび割れを亜硝酸リチウムで満たすための使用量設定
- ・塩化物イオン濃度やアルカリ総量に応じた設定ではない

## 超微粒子セメント系注入材(本注入)の注入量

- ・平均ひび割れ幅 × 深さ × 延長 × 密度 (×ロス率)
- ・密度 = 1000kg/m<sup>3</sup>    ロス率 = 50%

※設計値はロス率を含まない数量とし、積算時にロス率を見込む

## 【浸透拡散型亜硝酸リチウムの供給範囲イメージ】



- ・浸透拡散型亜硝酸リチウムの注入量はひび割れ体積相当とする
- ・ひび割れ原因の腐食鉄筋周囲にも広がるが、数量を明確に計上することが困難なため、ロス率に含めることで対応する

## 【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

- ・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



# 3. 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

**コンクリートの補修は二つの考え方があります。一つは劣化因子を内部に侵入させない工法。そして、もう一つは限界値を超えた劣化因子が既に入ったコンクリートの補修対策工法です。従来からの表面含浸材の工法は、劣化因子を内部に侵入させない工法です。**

特 徴

- 遮塩性が高い。
- 遮水性が高い。
- 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

9

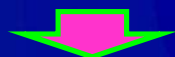
## 【プロコンガードシステムの補修数量算出】

### 必要な調査項目

- ・施工面積
- ・塩化物イオン濃度分布(塩害の場合)
- ・ひび割れ、浮き・はく離などの施工面の変状の有無

### 亜硝酸リチウム系含浸材(プロコンガードプライマー)の塗布量

- ・一般仕様 施工面積 × 標準塗布量 (×ロス率※)
- ・標準塗布量 = 0.3kg/m<sup>2</sup>    ロス率 = 10%



- ・塩化物イオン濃度に応じた塗布量の設定も可能(塩害の場合)

### けい酸リチウム系含浸材(プロコンガード)の塗布量

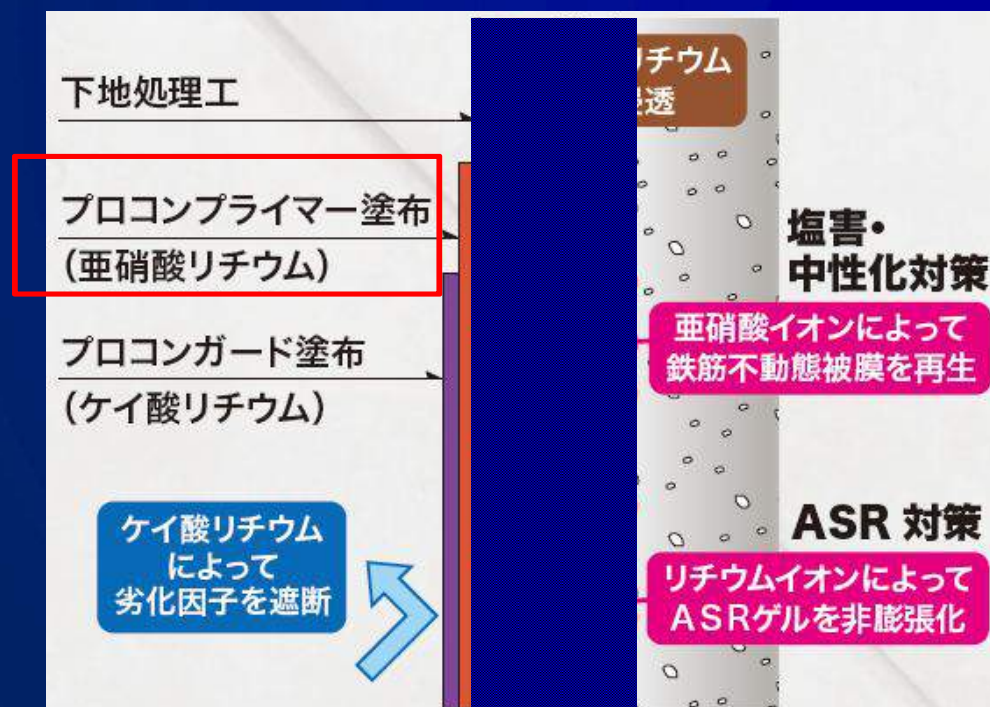
- ・施工面積 × 標準塗布量 (×ロス率※)
- ・標準塗布量 = 0.1kg/m<sup>2</sup>    ロス率 = 10%

※設計値はロス率を含まない数量とし、積算時にロス率を見込む

## 【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>

## 【計算例】

Clの原子量 : 35.453

LiNO<sub>2</sub>の式量 : 52.951

コンクリート中の塩化物イオン量 S (Cl<sup>-</sup>)

$$S = 3.50 \text{ kg/m}^3$$

塩害を抑制するための有効なNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>のmol比を 1.0 とする。(通常1.0とする)

Cl<sup>-</sup>の式量 = 35.453

Cl<sup>-</sup>のコンクリート中のmol数を k1 とすると,

$$k1 = 3.5 \div 35.453 = 0.09872225 \text{ mol}$$

そのうち, Cl<sup>-</sup>のmol数を k2 とすると,

$$k2 = k1 = 0.09872225 \text{ mol}$$

亜硝酸リチウムLiNO<sub>2</sub>の式量 = 52.951

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>のmol比を 1.0 とするため, 亜硝酸リチウムの必要mol数 k3は,

$$k3 = k2 \times 1.0 = 0.09872225 \text{ mol}$$

コンクリート1m<sup>3</sup>あたりの亜硝酸リチウム必要量をXとすると,

$$X = k3 \times 52.951 = 5.227 \text{ kg/m}^3$$

使用する亜硝酸リチウム水溶液の濃度を 40 %とする場合, (製品は40%水溶液)

コンクリート1m<sup>3</sup>あたりの亜硝酸リチウム水溶液の必要量X'は,

$$\begin{aligned} X' &= X \div 0.4 \\ &= 5.227 \div 0.4 = 13.07 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

## 【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

- ・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

# 3. 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層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>/㎡、毎分層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『プロコンガードプライマー』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**  
●高分子系浸透性防水材料などを用いて上塗りを行い、表面被覆材の劣化を防ぐ。

**④ 工事完了**  
●最終仕上げとして、コンクリート表面に保護塗料を塗布し、完成させる。

**施工概念図**

**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	23.7	30.9	
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1日	9.5	15.6	
	28日	31.5	38.8	
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1日	2.8	4.6	
	7日	5.9	8.1	
付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	28日	7.2	9.5	試験条件：標準配合、20℃±2℃で試験実施
		2.1	2.2	
硬化収縮率 (%)		-0.02	-0.02	

15

# 【リハビリ被覆工法の補修数量算出】

## 必要な調査項目

- ・施工面積
- ・塩化物イオン濃度分布(塩害の場合)
- ・ひび割れ、浮き・はく離などの施工面の変状の有無

## 亜硝酸リチウム系含浸材(プロコンガードプライマー)の塗布量

- ・施工面積 × 標準塗布量 (×ロス率※)
- ・標準塗布量 = 0.3kg/m<sup>2</sup>    ロス率 = 3%

## 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの塗布量

- ・施工面積 × 塗布厚さ × 密度 (×ロス率※)
- ・標準厚さ = 2.0mm    密度 = 2,000kg/m<sup>3</sup>    ロス率 = 3%



- ・塩化物イオン濃度に応じた塗布厚さの設定も可能(塩害の場合)

## 上塗り材(例;高分子系浸透性防水材)の塗布量

- ・施工面積 × 標準塗布量 (×ロス率※)
- ・標準塗布量 = 0.25kg/m<sup>2</sup>    ロス率 = 5%



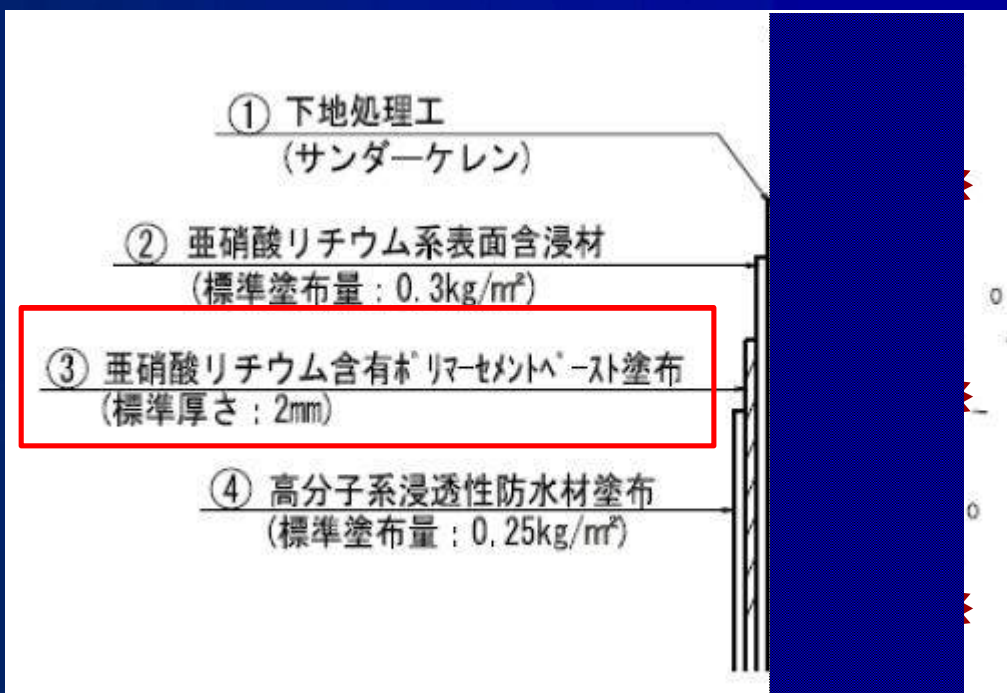
## 【塩化物イオン濃度に応じた

## 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>			

- ・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

# 3. 4 断面修復工法 『リハビリり断面修復工法』



REHABILI  
PSL-40  
リハビリり工法

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  
**リハビリり断面修復工法**

**【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！  
リハビリり断面修復工法は、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。断続が容易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、リハビリり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「リハビリりベース」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）  
「リハビリりベース」（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントベース）

- 【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「リハビリりベース」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
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1日	21.4	20.3
	7日	47.2	42.6
	28日	60.3	57.2
曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1日	4.7	4.7
	7日	8.5	8.3
	28日	9.4	9.3
長さ変化率 (×10 <sup>-4</sup> )	28日	-4.3	-4.7
	試験体	20℃, 60%RH	40×40×160mm
促進中性化 深さ (mm)	28日	0	0
	試験体	30℃, 60%RH, CO <sub>2</sub> =5%	40×40×160mm

※試験前であり、保証書ではありません。  
※リハビリりベースにPSL-40を注入した試験体です。



# 【リハビリ断面修復工法の補修数量算出】

## 必要な調査項目

- ・ 施工面積(浮き・はく離・鉄筋露出面積)
- ・ 鉄筋かぶり深さ(はつり深さ)
- ・ 塩化物イオン濃度分布(塩害の場合)
- ・ 鉄筋腐食状況



### 部分断面修復

浮き、はく離、鉄筋露出範囲のコンクリート脆弱部のみを修復する



### 全断面修復

塩化物イオンを含むコンクリートを全てはつりとり、修復する

## 【リハビリ断面修復工法の補修数量算出】

### 亜硝酸リチウム系含浸材(プロコンガードプライマー)の塗布量

- ・はつり面積 × 標準塗布量 (×ロス率※)
- ・標準塗布量 = 0.3kg/m<sup>2</sup>    ロス率 = 3%

### 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの塗布量

- ・はつり面積 × 塗布厚さ × 密度 (×ロス率※)
- ・標準厚さ = 2.0mm    密度 = 2,000kg/m<sup>3</sup>    ロス率 = 3%

### ポリマーセメントモルタル系断面修復材の使用量

- ・施工面積 × 修復厚さ × 密度 (×ロス率※)
- ・密度 = 1,875kg/m<sup>3</sup>    ロス率 = 18% (左官工法の場合)

### 断面修復材に混入する亜硝酸リチウム(PSL-40)の混入量

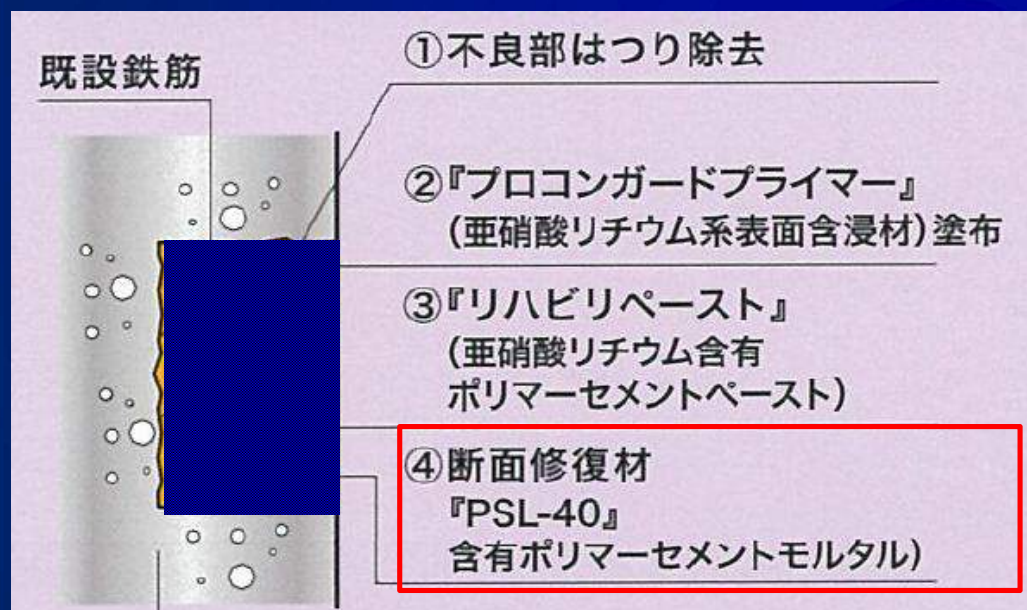


- ・塩化物イオン濃度に応じた混入量の設定が可能(塩害の場合)

## 【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

# 3.5 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変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厚の小さな構造物の補修や折損のみの部分的な補修のように、施工規模が小さい場合に合理的かつ経済的に適用することができます。

**施工仕様**

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

リハビリカプセル装置状況

**工法概念図**

## 【リハビリカプセル工法の補修数量算出】

### 必要な調査項目(塩害の場合)

- ・施工面積、構造寸法
- ・鉄筋かぶり深さ
- ・塩化物イオン濃度分布
- ・ひび割れ、浮き・はく離などの施工面の変状の有無
- ・鉄筋腐食状況
- ・コンクリート圧縮強度

### 浸透拡散型亜硝酸リチウム系含浸材(プロコン40)の圧入量

- ・施工面積×圧入深さ×単位体積あたり圧入量(×ロス率※)
- ・圧入深さ=75~150mm程度(鉄筋かぶりに応じて)   ロス率=5%



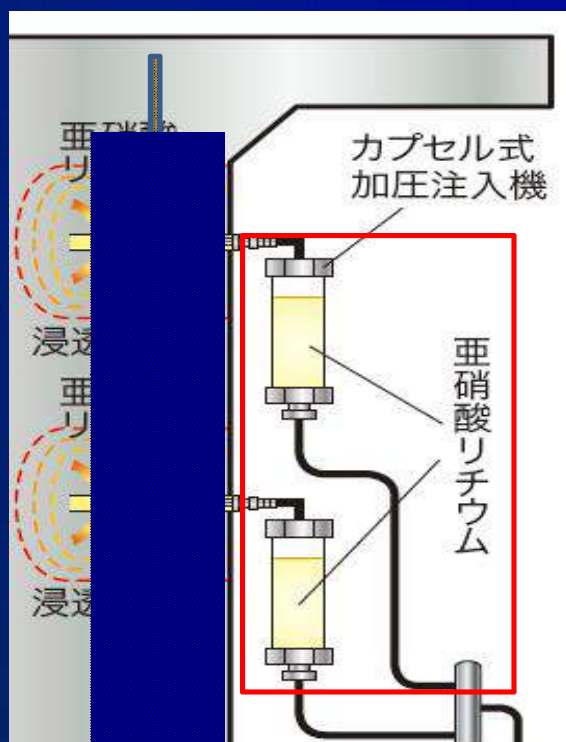
- ・単位体積あたり圧入量は塩化物イオン濃度に応じて設定(塩害の場合)

※設計値はロス率を含まない数量とし、積算時にロス率を見込む

# 【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



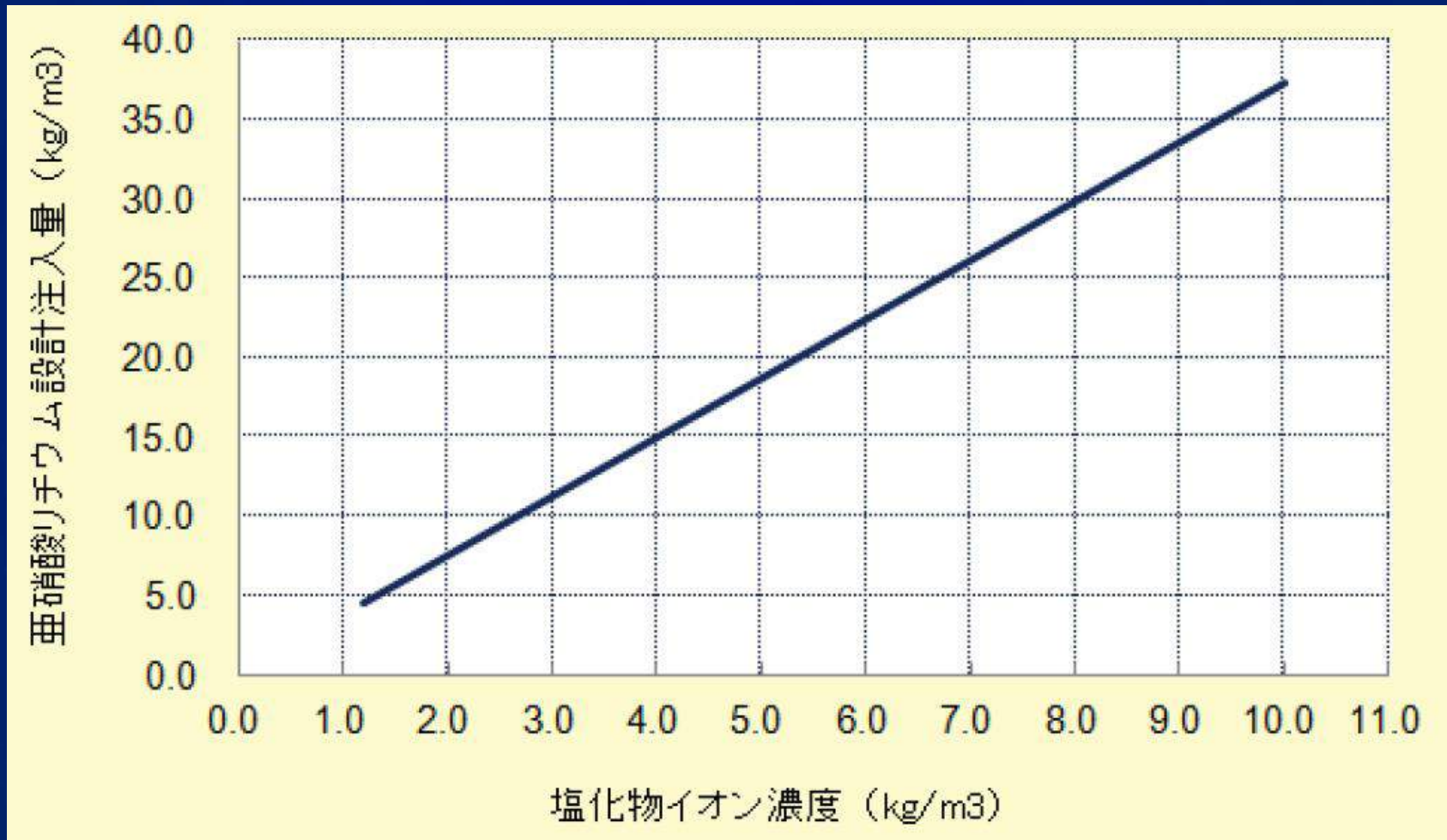
## 【設計上の仮定】

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



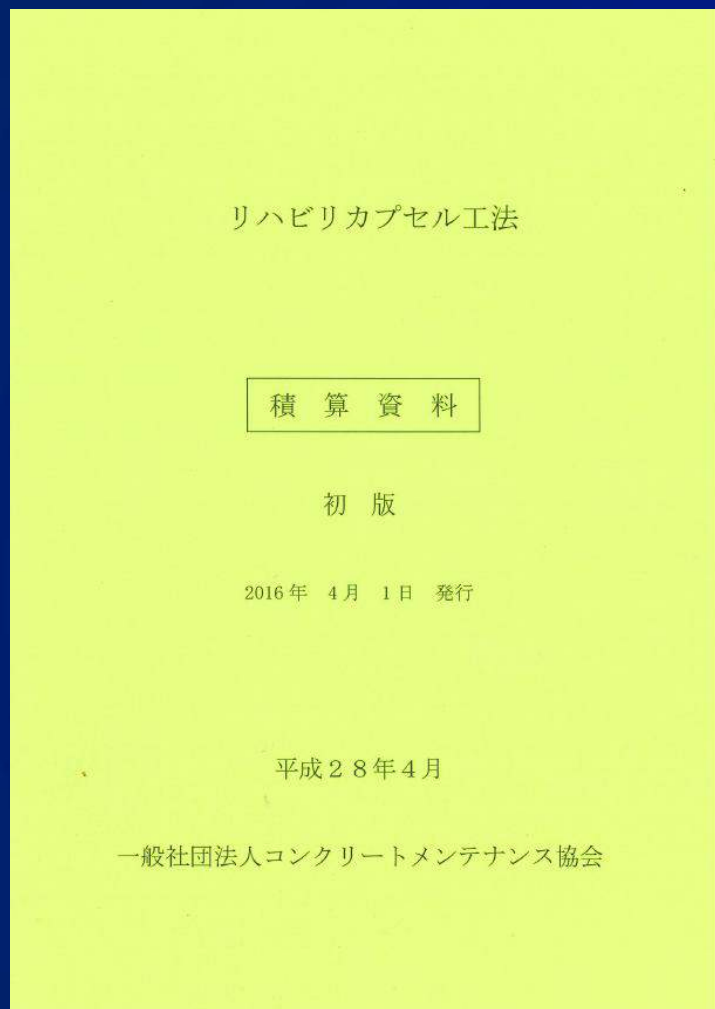
## 【塩化物イオン濃度に応じた 浸透拡散型亜硝酸リチウム(プロコン40)の圧入量】

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(=亜硝酸リチウム内部圧入工)の設計手順は「3.6 ASRリチウム工法」にて詳細に紹介します。

# 【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。

# 3.6 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晶質化するため、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』  
※TBS/CO-100022-A  
 注入量:コンクリートのアルカリ総量(ASRの場合)や腐化物イオン量(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:孔径はφ10mmまたはφ20mm(鋼孔深さに応じて決定)  
 鋼孔間隔は500mm~1,000mm(部材寸法や構造規模に応じて決定)  
 鋼孔深さは300mm~4,000mm

### 施工事例

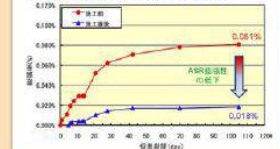


### 施工手順

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リングを行い、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穿孔します。
4. リハビリ圧入機、配圧ホース、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。

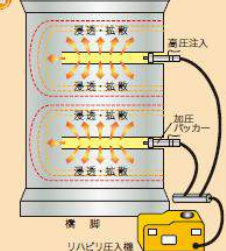
### 補修効果の検証

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量検査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量検査試験結果(JCH-D02法)の例

### 工法概念図





## 【ASRリチウム工法の補修数量算出】

### 必要な調査項目 (ASRの場合)

- ・施工面積、構造寸法
- ・アルカリ総量
- ・残存膨張量
- ・ひび割れ、浮き・はく離などの施工面の変状の有無
- ・鉄筋腐食状況
- ・コンクリート圧縮強度、静弾性係数

### 浸透拡散型亜硝酸リチウム系含浸材 (プロコン40) の圧入量

- ・施工面積 × 圧入深さ × 単位体積あたり圧入量 (×ロス率※)
- ・圧入深さ = 部材寸法 (部材全体)    ロス率 = 10%



- ・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)

※設計値はロス率を含まない数量とし、積算時にロス率を見込む

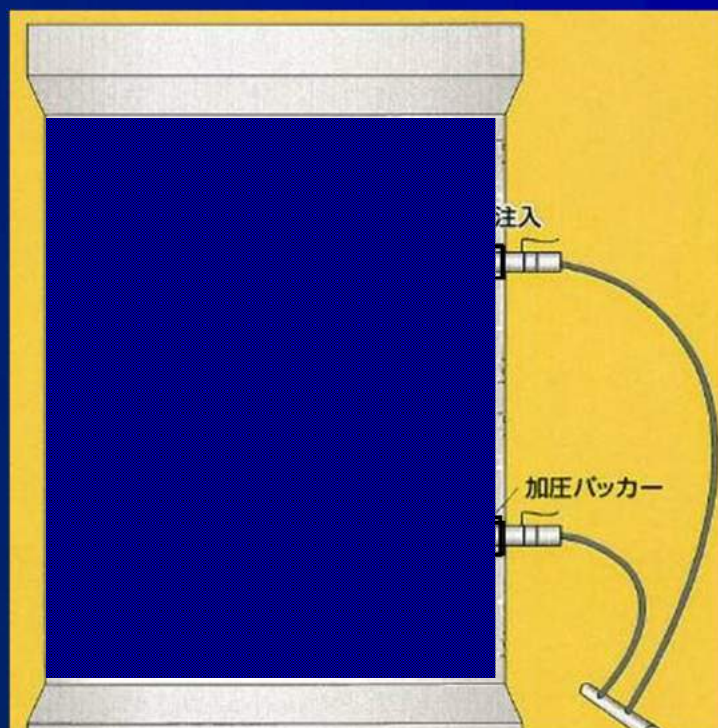
## 【アルカリ総量に応じた

## 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)

## 【ASRリチウム工法の補修設計】

① 対象構造物の劣化状況確認

・圧縮強度、アルカリ総量を実測

② 設計圧入量の設定

・コンクリートのアルカリ総量から算出

③ 圧入孔の検討

・圧入孔間隔、圧入孔径

④ 上限注入圧力の設定

・コンクリートの圧縮強度から算出

⑤ 設計圧入日数の算出

・コンクリートの圧縮強度から算出

⑥ 図面、数量、工事費

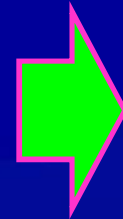
・設計成果品

## ① 対象構造物の劣化状況確認

- ・コンクリートからコアを採取し、圧縮強度、静弾性係数、アルカリ総量を実測
- ・SEM観察、残存膨張量試験結果などにより、ASRリチウム工法の適用可否を検討
- ・補修履歴の有無、浮き、はく離、ジャンカ等の不具合の有無を確認

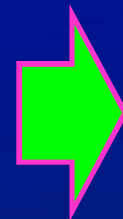
### 【調査結果の例】

圧縮強度低下なし  
静弾性係数の低下あり  
SEM観察より反応生成物あり  
残存膨張量が無害



劣化機構はASR  
ただし膨張は収束傾向  
↓  
ASRリチウム工法は不適

圧縮強度低下なし  
静弾性係数の低下あり  
SEM観察より反応生成物あり  
残存膨張量が有害



劣化機構はASR  
将来的にも膨張は進行  
↓  
ASRリチウム工法は最適

## ② 設計圧入量の設定

- ・コンクリートのアルカリ総量から、亜硝酸リチウム設計圧入量を算定する
- ・設計圧入量は $[\text{Li}]/[\text{Na}]$ モル比=0.8となる量とする

### 【アルカリ総量の推定】

- ・アルカリ総量試験が未実施の場合は、設計段階で『アルカリ総量=3.0kg/m<sup>3</sup>』と仮定

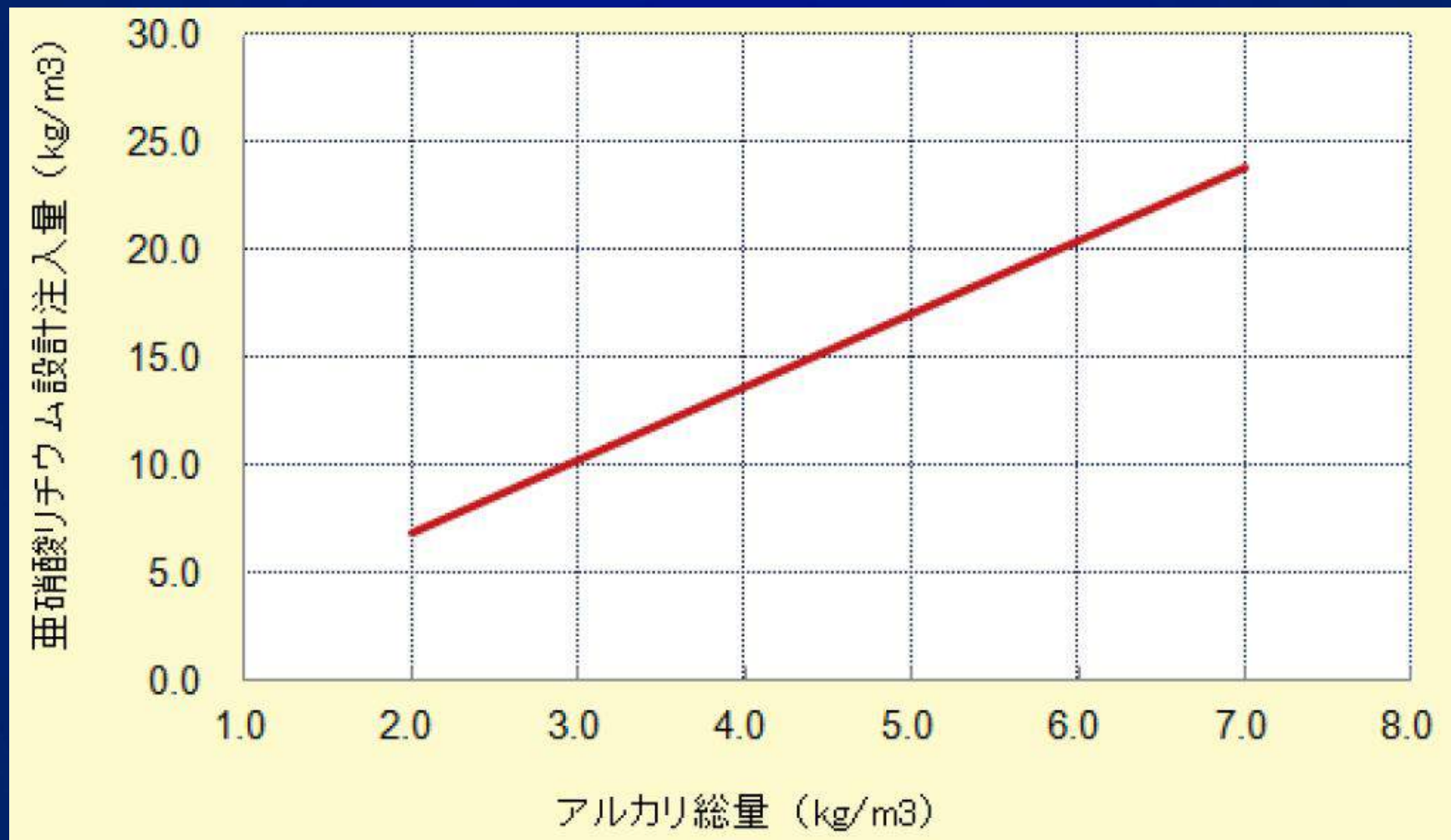
### 【亜硝酸リチウム設計圧入量の設定】

- ・アルカリ総量3.0kg/m<sup>3</sup>のとき、Li/Naモル比0.8となる亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量は『10.3kg/m<sup>3</sup>』

### 【施工時には】

- ・アルカリ総量に応じて設計圧入量が変わる
- ・施工時にあらためてコアを採取し、アルカリ総量を実測したうえで、設計圧入量を最終決定する

## アルカリ総量と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係



## 【計算例】

コンクリート中のアルカリ総量  $Z(\text{Na}_2\text{O})$

$$Z = 4.00 \text{ kg/m}^3$$

$\text{Li}^+/\text{Na}^+$ のmol比の設定

0.8 とする。

$\text{Na}_2\text{O}$ の分子量 = 62

$\text{Na}_2\text{O}$ のコンクリート中のmol数を  $k_1$  とすると,

$$k_1 = 4.0 / 62 = 0.06451613 \text{ mol}$$

そのうち,  $\text{Na}^+$ のmol数を  $k_2$  とすると,

$$k_2 = k_1 \times 2 = 0.12903226 \text{ mol}$$

( $\text{Na}_2\text{O}$ の中に $\text{Na}^+$ は2つ存在するため)

亜硝酸リチウム $\text{LiNO}_2$ の分子量 = 53

$\text{Li}^+/\text{Na}^+$ のmol比を 0.8 とするため, 亜硝酸リチウムの必要mol数  $k_3$ は,

$$k_3 = k_2 \times 0.8 = 0.10322581 \text{ mol}$$

コンクリート $1\text{m}^3$ あたりの亜硝酸リチウム必要量を $X$ とすると,

$$X = k_3 \times 53 = 5.471 \text{ kg/m}^3$$

使用する亜硝酸リチウム水溶液の濃度 = 40 %

コンクリート $1\text{m}^3$ あたりの亜硝酸リチウム水溶液の必要量 $X'$ は,

$$\begin{aligned} X' &= X / 0.4 \\ &= 5.471 / 0.4 = 13.7 \text{ kg/m}^3 \\ & (= 10.9 \text{ l/m}^3) \end{aligned}$$

## 【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)



### ③ 圧入孔の検討

- ・削孔径 ⇒ 「φ20mm」(ダイヤモンドコアドリルによる)
- ・圧入孔間隔 ⇒ 「@500」or「@750」or「@1,000mm」の千鳥配置
- ・削孔深さ ⇒ 「部材厚さ－150mm」

#### 【削孔径】

- ・油圧式圧入装置 ⇒ φ20mm
- ・カプセル式圧入装置 ⇒ φ10mm

#### 【圧入孔間隔】

- ・圧入孔間隔が広い ⇒ 浸透距離が大 ⇒ 圧入時間が大
- ・圧入孔間隔が狭い ⇒ 圧入日数が小 ⇒ 削孔本数が大  
⇒コンクリートの圧縮強度も考慮し、@750mmで検討

#### 【削孔深さ】

- ・鉄筋かぶりの1.5倍以上を確保  
⇒一般的には「部材厚－0.15m」とする

## ④ 上限注入圧力の設定

- ・注入圧力は、「0.5MPa～上限注入圧力」の範囲内とする
- ・上限注入圧力は、コンクリート引張強度の1/3と定める

### 【注入圧力の初期値】

- ・コンクリート中の亜硝酸リチウムの浸透が得られる圧力
- ・コンクリート表面への過度な漏出がない圧力  
⇒ 0.5MPaを基本とする

### 【注入圧力の上限】

- ・浸透が遅い場合には現場で注入圧力を上げることができる
- ・ただし、劣化したコンクリートに悪影響を与えない範囲まで
- ・上限注入圧力は構造物毎に定める

推定引張強度＝圧縮強度の試験値／10  
上限注入圧力＝推定引張強度／安全率  
ただし、安全率；3

表 4.6-1 上限注入圧力の設定例

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	推定引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	上限注入圧力 (MPa)
15	1.50	0.50
17	1.70	0.57
19	1.90	0.63
21	2.10	0.70
23	2.30	0.77
25	2.50	0.83
27	2.70	0.90
29	2.90	0.97
31	3.10	1.03
33	3.30	1.10
35	3.50	1.17
37	3.70	1.23
39	3.90	1.30
41	4.10	1.37
43	4.30	1.43
45	4.50	1.50

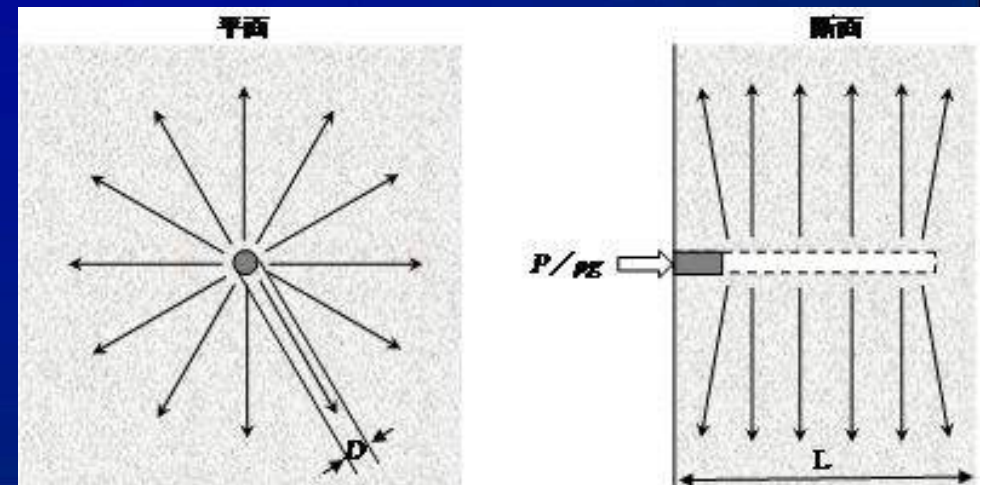
## ⑤ 設計圧入日数の算出

- ・コンクリート中の亜硝酸リチウムの浸透のしやすさは、コンクリートの劣化の程度に影響を受ける。
- ・設計圧入日数は、「圧縮強度」、「静弾性係数」、「圧入量」、「圧入孔間隔」および「コンクリート体積」をパラメータとして算出する。

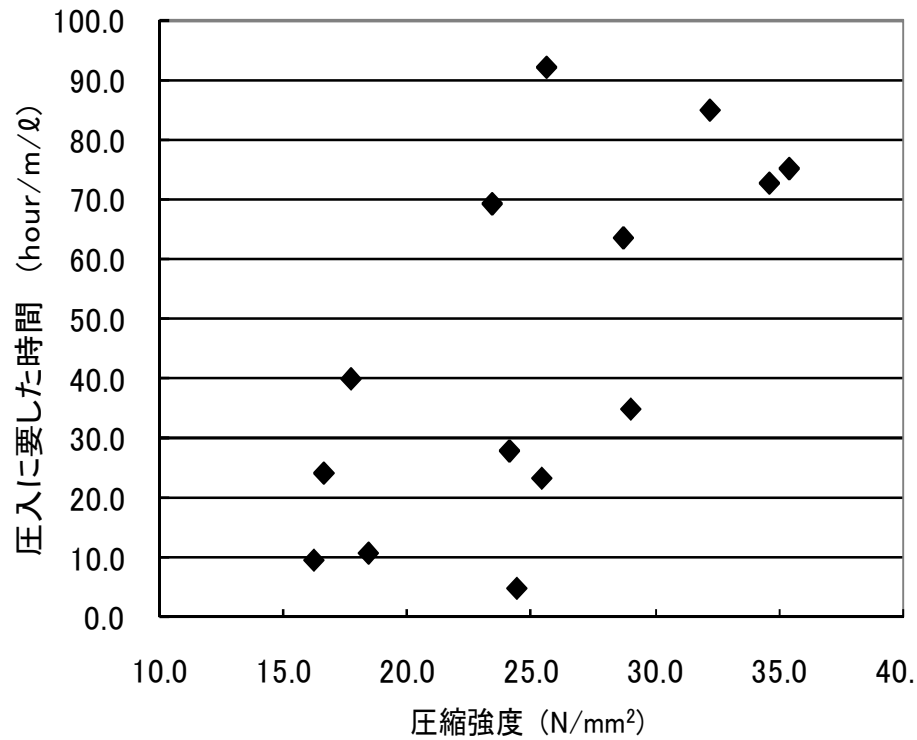
### 【亜硝酸リチウムの浸透のしやすさ】

- ・コンクリートの劣化程度が著しいほど、亜硝酸リチウムは浸透しやすい ⇒ 圧入日数は短くなる
- ・ASR劣化程度を示す指標として、圧縮強度、静弾性係数の実測値を用いる

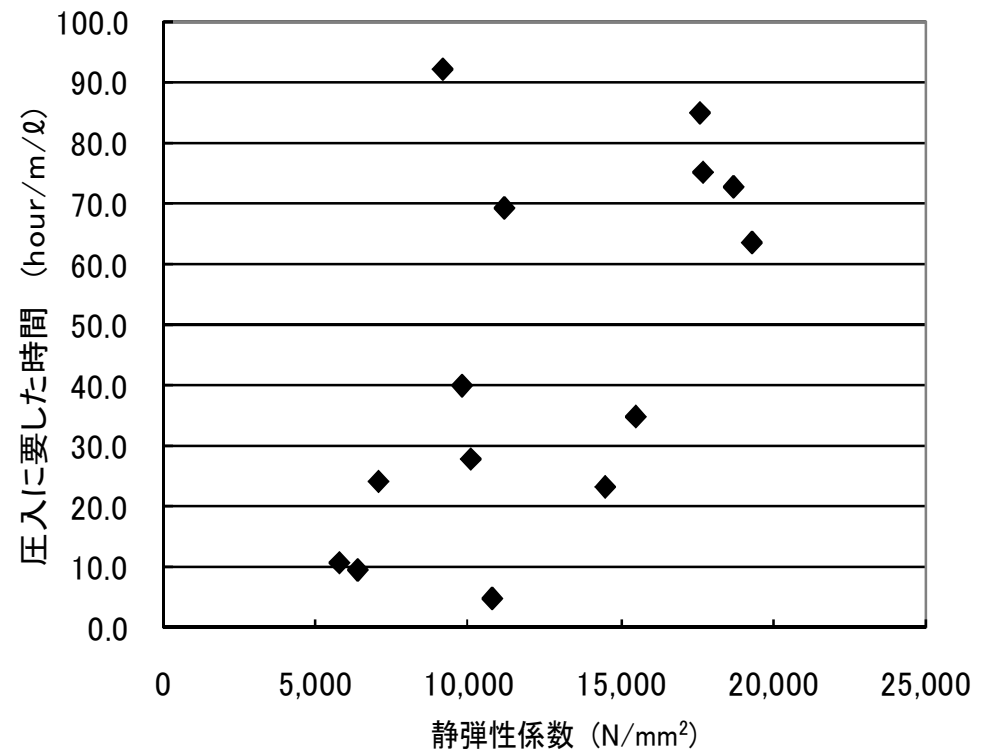
- ・コンクリート中の浸透は、定常放射状流れのモデル



## 「劣化程度の指標」と「圧入に要した時間」との関係



圧縮強度



静弾性係数

## 亜硝酸リチウム設計圧入日数の算出

$$q = f(k_{\alpha}, L, P, D) = 2\pi k_{\alpha} L \frac{P}{\rho g} \cdot \frac{1}{\ln(4L/D)} \quad (\text{m}^3/\text{hour})$$

$P$  : 設計注入圧力 (MPa=10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 抑制剤の密度 (=1,200) (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (=9.8) (m/sec<sup>2</sup>)

$L$  : 部材厚(m)

$D$  : 圧入孔径(m)

$$k_{\alpha} = \frac{q \cdot \rho g}{2\pi P L} \ln\left[\frac{4L}{D}\right]$$

$k_{\alpha}$  (圧縮強度より)  
 $k_{\alpha} = h(f'_c) = 1 \times 10^{-5} \cdot e^{-0.1130 f'_c}$

$k_{\alpha}$  (静弾性係数より)  
 $k_{\alpha} = h(E_c) = 4 \times 10^{-6} \cdot e^{-0.0001 E_c}$

$k_{\alpha}$  : 亜硝酸リチウムの内部圧入のしやすさに関するパラメータ

$h(f'_c)$ ,  $h(E_c)$  :  $k_{\alpha}$  を求める関数

$f'_c$ ,  $E_c$  : ASR によるコンクリートの劣化程度の指標 (圧縮強度, 静弾性係数)

・条件設定

名称, 位置	本線 P16橋脚	
対象コンクリート 体積	33.75	m <sup>3</sup>
アルカリ総量	3.0	kg/m <sup>3</sup>
コンクリート1 m <sup>3</sup> あたり設計抑制剤量	10.3	kg/m <sup>3</sup>
設計抑制剤量	382.0	kg
圧入孔間隔	1.0	m
圧入孔本数	17.0	本

・コンクリート 試験結果

圧縮強度	21.0	N/mm <sup>2</sup>
弾性係数	-	kN/mm <sup>2</sup>

・圧入工の設定値

P : 設計注入圧力	0.5	MPa
$\rho$ : 抑制材の密度	1250	kg/m <sup>3</sup>
g : 重力加速度	9.8	m/sec <sup>2</sup>
L : 部材厚	1.8	m
D : 圧入孔径	0.02	m
V : 1 圧入孔あたりに圧入する抑制剤量	0.018	m <sup>3</sup>

2. 結果

圧縮強度より

圧入のしやすさに関するパラメータ

$$ka = 7 \times 10^{-6} \cdot e^{-0.0002k_c}$$

$$ka = 1.07542E-06$$

時間当たりの圧入量(m<sup>3</sup>/hour)

$$q = 2\pi \cdot ka \cdot L \cdot (P / \rho g) \cdot (1 / \ln(4L/D))$$

$$q = 8.434E-05 \quad \text{m}^3/\text{hour}$$

抑制剤の圧入に要する時間

$$t = V/q$$

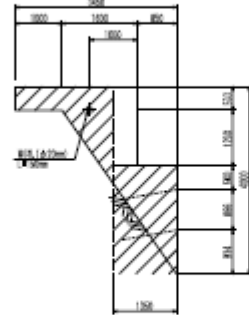
$$t = \frac{213}{27} \text{ hour}$$

$$= 27 \text{ 日 (8時間/日)}$$

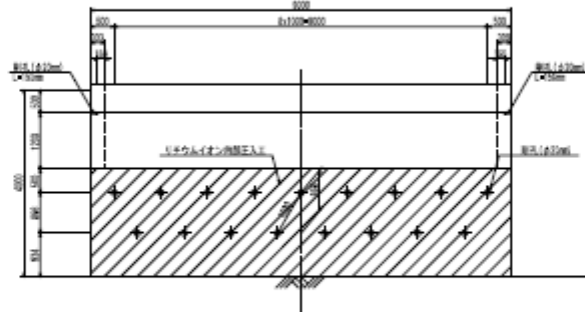
# ⑥ 図面、数量、工事費

補修要領図（リチウムイオン内部圧入工法）（その1）  
（RA1 橋台）

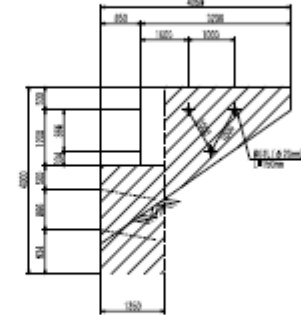
側面図（右側） $\frac{1}{50}$   
起点側 終点側



正面図（起点側） $\frac{1}{50}$



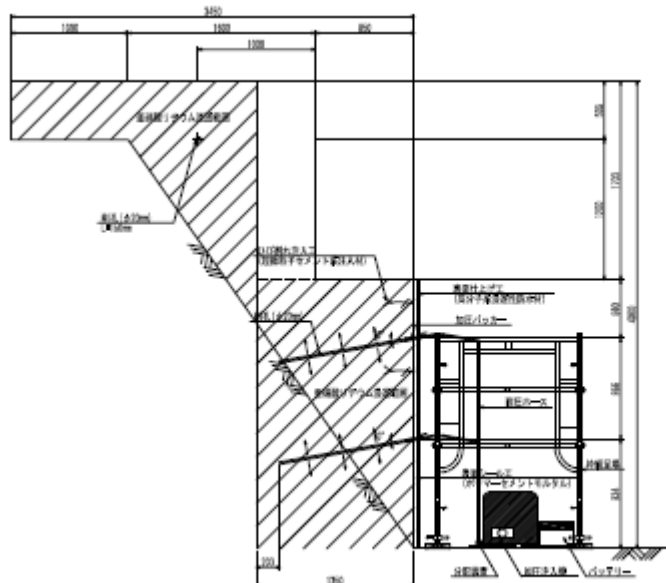
側面図（左側） $\frac{1}{50}$   
終点側 起点側



凡 例

+	圧入孔開孔位置
斜線	リチウムイオン内部圧入工

補修要領  $\frac{1}{10}$   
（リチウムイオン内部圧入工）



リチウムイオン内部圧入工施工フロー

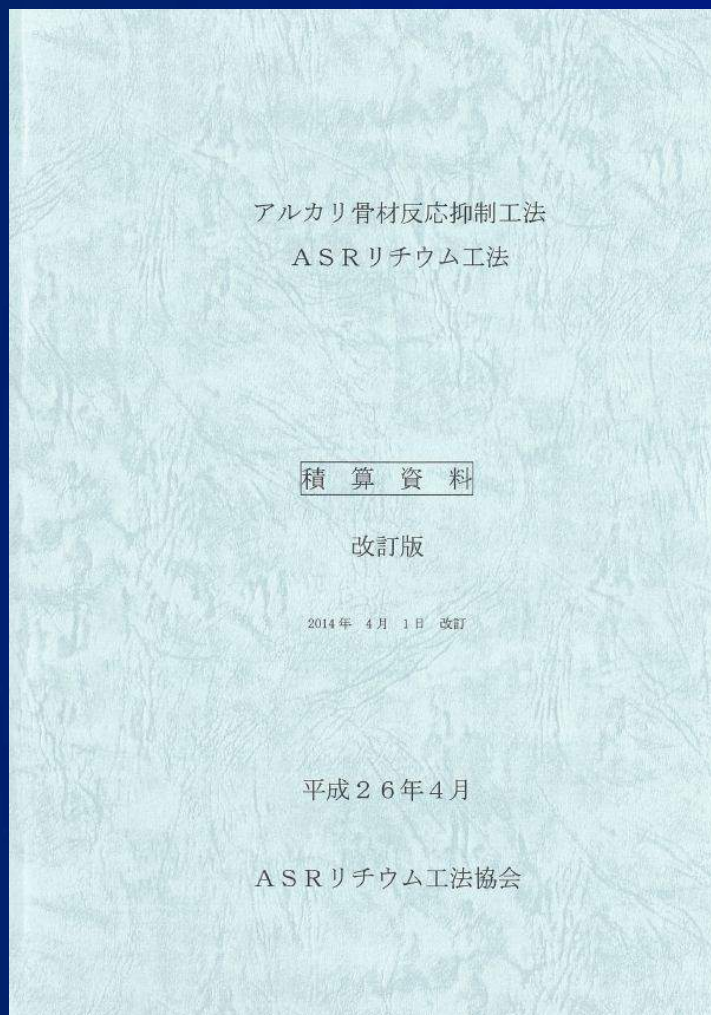


① 圧入孔開孔位置及び本機は、現場状況等を勘案して決定する事。  
 ② ひび割れ部、空巣は、専機設置工の結果と共に取替決定する事。  
 ③ 現場よりアラム敷き足入量は、アラム1台毎に現場検査にて確認決定する事。



名称	規格	単位	数量	備考
下地処理工		m <sup>2</sup>	39.26	
調査計測工		m <sup>2</sup>	39.26	
ひび割れ注入	幅0.2mm~1.0mm	m	3.55	超微粒子セメント系
	幅1.0mm以上	m	0.00	超微粒子セメント系
表面シール工		m <sup>2</sup>	39.26	カチオン性アクリルポリマーセメントモルタル
鉄筋探査工		m <sup>2</sup>	26.52	
圧入工位置出し工		m <sup>2</sup>	26.52	
圧入工削孔工	φ20	m	20.49	ダイヤモンドコアドリル
加圧装置設置工	油圧式	組	1.00	
加圧パッカー装着工	φ20用	孔	21.00	
耐圧ホース配管工		孔	21.00	
試験加圧注人工		孔	21.00	
本加圧注人工		孔	21.00	
亜硝酸リチウム40%水溶液		kg	418.18	浸透拡散型亜硝酸リチウム
圧入孔充填工		孔	21.00	無収縮グラウト
充填材		m <sup>3</sup>	0.007	
表面仕上工(正面、側面、ウイング)		m <sup>2</sup>	31.61	高分子系浸透性防水材
表面仕上工(桁座面)		m <sup>2</sup>	7.65	アクリルゴム系
既設塗膜撤去工		m <sup>2</sup>	31.61	
足場工	枠組足場	掛m <sup>2</sup>	31.61	
圧入日数	8時間/日とする	日	21.00	注入圧力0.8MPa
(圧入時間)		時間	163.00	

# 【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。

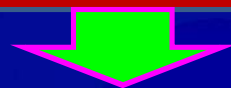
# 4. リハビリ工法による 定量的かつ主体的な補修

## コンクリート構造物の補修は主体的に行うべき

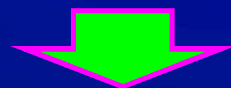
### 【主体的とは】

例えば、

- ・ひび割れが発生している箇所 ⇒ ひび割れ注入を行う
- ・鉄筋が露出している箇所 ⇒ 断面修復を行う



これらは決して間違った判断ではない。選択肢としてはあり得る。  
ただ、これらの判断は**主体的**であると言えるか？  
**現時点**で起きている現象に対処しているだけ。  
劣化は進行する。**補修した箇所**も劣化は進行する。



重要なのは、

『この構造物を今後どのように維持管理していくつもりか？』  
というライフサイクルを考慮した維持管理シナリオの策定。

## 4.1 リハビリ工法による塩害補修



# 塩害の補修工法選定

## 【塩害の補修工法と要求性能】

### ①劣化因子の遮断

(コンクリート中への塩化物イオン, 水, 酸素の侵入を低減)

【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

【ひび割れ注入工法】 ……リハビリシリンダー工法

### ②劣化因子の除去

(既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去)

【脱塩工法】

### ③鉄筋腐食の抑制

(既に腐食が開始している鉄筋の腐食進行を抑制)

【電気防食工法】

【亜硝酸リチウム内部圧入工法】 ……リハビリカプセル工法

### ④コンクリート脆弱部の修復

(コンクリート浮き、はく離、鉄筋露出部の修復)

【断面修復工法】 ……リハビリ断面修復工法

## 【塩害の劣化過程】

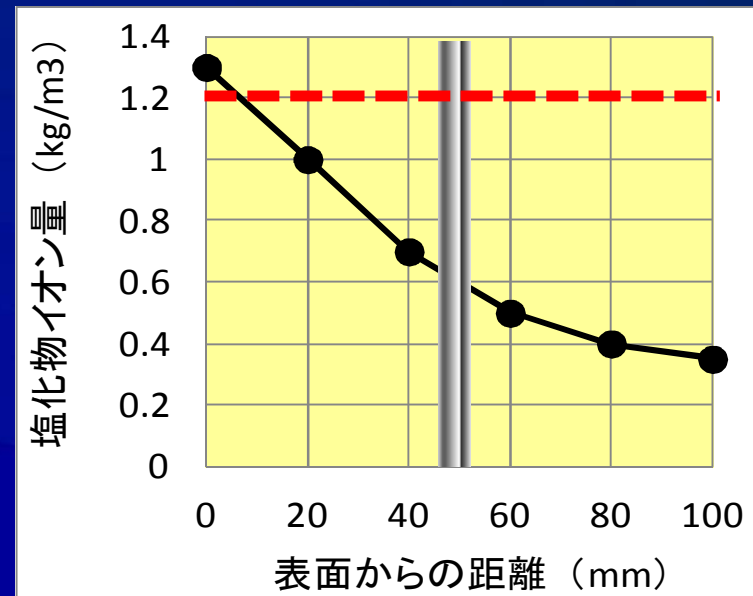
表 2-1 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

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？

# 1. 潜伏期



## 【劣化の状態】

- ・外観上の変化は見られない
- ・腐食発生限界塩化物イオン濃度以下  
⇒ まだ鉄筋腐食環境には陥っていない

## 【定量的な劣化指標】

- ・塩化物イオン濃度の測定値  
⇒ 腐食発生限界未満であるか？



# 1. 潜伏期

## 【補修工法の主たる要求性能】

- ・塩化物イオンを侵入させない  
（劣化因子の遮断）  
⇒ 鉄筋の腐食環境をつくらない



## 【補修工法の選定】

- ・存置、経過観察、モニタリング
- ・劣化因子の遮断性を有する工法から選択  
⇒ 表面保護工法
  - 表面含浸工法（プロコンガードシステム）
    - ・・・安価、モニタリング性が高い
  - 表面被覆工法（リハビリ被覆工法）
    - ・・・ 美観性向上、遮塩性が高い

## 【備考】

- ・鉄筋周囲を腐食環境にさせないための**予防保全**

# 1. 潜伏期

## 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

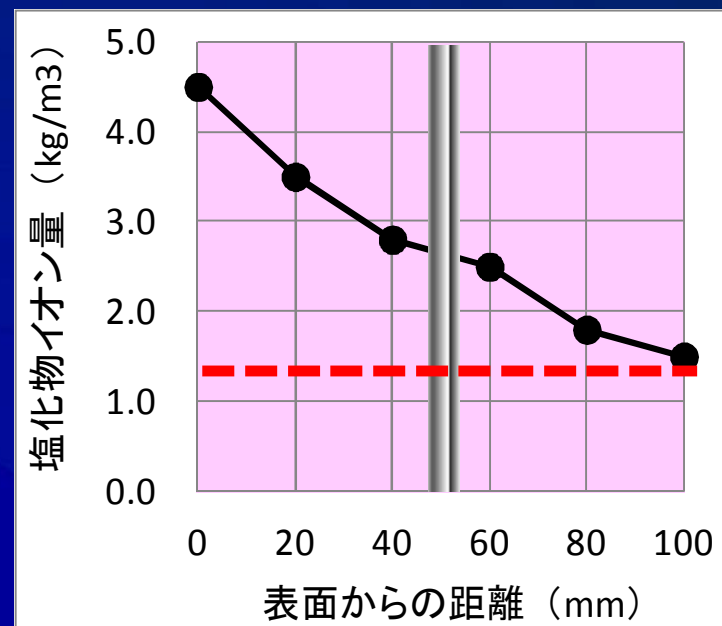
### (1) 存置、経過観察

- ・現時点で何ら変状が生じていないので、しばらく様子を見る
- ・劣化予測にて腐食発生限界を超えるまでの期間に余裕がある場合
- ・定期的な塩化物イオン濃度測定
  - ⇒ 点検、調査による継続的な状況把握

### (2) 表面保護工を定期的に行う

- ・劣化因子を遮断して鉄筋腐食環境を作らないための予防保全
- ・適用する材料には耐用年数があるため、定期的に再補修を行う
  - ⇒ 劣化因子遮断性を途切れさせない
  - ⇒ 軽微な処置を繰り返すことで塩害劣化を顕在化させない

## 2. 進展期



### 【劣化の状態】

- ・外観上の変化は見られない
- ・腐食発生限界塩化物イオン濃度以上  
⇒ 不動態皮膜の破壊、鉄筋腐食が開始

### 【定量的な劣化指標】

- ・塩化物イオン濃度の測定値  
⇒ 腐食発生限界を超えているか？

## 2. 進展期

### 【補修工法の主たる要求性能】

- ・塩化物イオン、水、酸素をこれ以上侵入させない
- ・鉄筋腐食の進行速度を抑制する
  - ⇒ 鉄筋腐食を遅らせ、変状をできるだけ顕在化させない



### 【補修工法の選定】

- ・劣化因子の遮断性を有する工法から選択
  - ⇒ 表面保護工法
    - 表面含浸工法(プロコンガードシステム)
      - ・・・安価、モニタリング性が高い
      - ※ 一般的な表面含浸工法は基本的に適用範囲外
    - 表面被覆工法 (リハビリ被覆工法)
      - ・・・ 美観性向上、遮塩性が高い
  - ⇒ 鉄筋腐食抑制という付加価値

### 【備考】

- ・ひび割れ等の変状を発生させないための**予防保全**

## 2. 進展期

### 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

#### (1) 存置、経過観察

- ・現時点で何ら変状が生じていないので、しばらく様子を見る
- ・ただし鉄筋は腐食環境にあるため、将来的には変状が顕在化することを想定  
⇒ 対策工実施の優先順位の検討

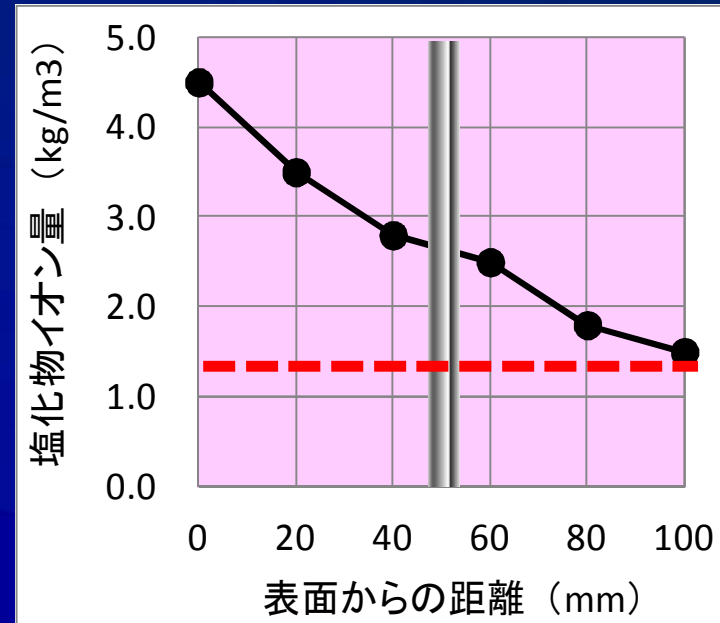
#### (2) 表面保護工を定期的に行う

- ・劣化因子を遮断して変状の顕在化を遅らせる
- ・適用する材料には耐用年数があるため、定期的に再補修を行う  
⇒ 既に塩化物イオン濃度は腐食発生限界を超えているため、鉄筋腐食抑制効果を併せ持つプロコンガードシステムやリハビリ被覆工法が効果的

#### (3) 費用を投じて以後のメンテナンスをフリーとする

- ・脱塩工法（塩化物イオンを除去して鉄筋腐食環境を改善）
- ・電気防食工法、亜硝酸リチウム内部圧入工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・全断面修復（塩化物イオンを含むコンクリートを完全に除去）  
⇒ 構造物の重要性や費用対効果、LCC等を十分に検討したうえで適用

### 3. 加速期前期



#### 【劣化の状態】

- ・腐食ひび割れや浮きが発生
  - ・錆汁が見られることもある
- ⇒ 既に鉄筋腐食が進行している

#### 【定量的な劣化指標】

- ・鉄筋の腐食程度、腐食速度
- ⇒ 腐食度目視確認、自然電位や分極抵抗の測定値など  
(塩化物イオン濃度は当然腐食発生限界を超えている)

### 3. 加速期前期

#### 【補修工法の主たる要求性能】

- ①鉄筋腐食の進行速度を抑制する
- ②鉄筋腐食の進行を根本的に抑制する  
⇒ これ以上の変状の進行、増大を防ぐ



#### 【補修工法の選定】

- ①劣化因子の遮断性を有する工法から選択  
⇒ 表面保護(リハビリ被覆工法) + ひび割れ注入(リハビリシリンダー工法)  
(必要に応じて部分断面修復工を併用)
- ②鉄筋腐食を根本的に抑制できる工法から選択  
⇒ 電気防食工法 (塩分存在下でも鉄筋腐食を抑制)  
亜硝酸リチウム内部圧入工法 (塩分存在下でも鉄筋腐食を抑制)  
全断面修復工法 (塩分を含むコンクリートを完全に除去)

#### 【備考】

- ・塩害による変状が顕在化している構造物は全て加速期前期以上

### 3. 加速期前期

#### 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

##### (1) ひび割れ注入、表面保護、部分断面修復など最小限の補修を定期的に行う

- ・劣化因子を遮断して劣化の進行速度を遅らせる
- ・既に鉄筋腐食が著しく進行しているため、これらの対策では早期に再劣化
- ・再劣化したら速やかに再補修を行うために、点検強化やモニタリングを併用
- ・外観変状がまだ比較的軽微な段階ではLCCでも有利となることもある
  - ⇒ 補修のインシヤルコストを最小とし、再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオを選択するという考え方
  - 各工法に鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ各種リハビリ工法が効果的

##### (2) 鉄筋腐食の根本的な抑制という工学的判断に基づく対策

- ・電気防食工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・亜硝酸リチウム内部圧入工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・全断面修復（塩化物イオンを含むコンクリートを完全に除去）
  - ⇒ これらの工法を適用すれば、再劣化のリスクを限りなく低減できる
  - 構造物の重要性や費用対効果を十分に検討したうえで適用



## 4. 加速期後期



### 【劣化の状態】

- ・ひび割れ本数、幅、長さの増大。
- ・コンクリートの浮き、はく離、はく落が見られる。  
⇒ 鉄筋腐食が著しく進行し、その速度が最大

### 【定量的な劣化指標】

- ・鉄筋の腐食程度、腐食速度  
⇒ 腐食度目視確認、自然電位や分極抵抗の測定値など  
(塩化物イオン濃度は当然腐食発生限界を超えている)

## 4. 加速期後期



### 【補修工法の主たる要求性能】

- ・浮き、はく離、鉄筋露出などのコンクリート脆弱部を修復  
⇒ 加速期後期では断面修復が必要な場合が多い
- ・鉄筋腐食の進行を根本的に抑制する  
⇒ 鉄筋腐食を抑制し、構造物の性能低下を防ぐ

### 【補修工法の選定】

- ・鉄筋腐食を根本的に抑制できる工法から選択  
⇒ 電気防食工法（塩分存在下でも鉄筋腐食を抑制）  
亜硝酸リチウム内部圧入工法（リハビリカプセル工法）  
（塩分存在下でも鉄筋腐食を抑制）  
全断面修復工法（塩分を含むコンクリートを完全に除去）

### 【備考】

- ・加速期前期からさらに変状が進行し、耐久性能低下が著しい状態

## 4. 加速期後期

### 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

#### (1) ひび割れ注入、表面保護、部分断面修復など最小限の補修を定期的に行う

- ・劣化因子を遮断して劣化の進行速度を遅らせる
- ・既に鉄筋腐食が著しく進行しているため、これらの対策では早期に再劣化
- ・再劣化したら速やかに再補修を行うために、点検強化やモニタリングを併用
- ・外観変状が甚大な段階ではLCCで劣ることもある

⇒ 残存供用年数が少ない場合などでは適用されることもある

再劣化と再補修を繰り返すたびに、保有性能は低下し続けることを認識せめて、各工法に鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ各種リハビリ工法を

#### (2) 鉄筋腐食の根本的な抑制という工学的判断に基づく対策

- ・電気防食工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・亜硝酸リチウム内部圧入（リハビリカプセル工法）（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・全断面修復（塩化物イオンを含むコンクリートを完全に除去）

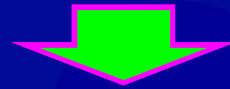
⇒ これらの工法を適用すれば、再劣化のリスクを限りなく低減できる。

イニシャルコストでは高価となるがLCCでは優れる場合が多い

## 4. 加速期後期

例えば、

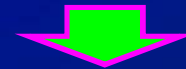
- ・ひび割れが発生している箇所 ⇒ ひび割れ注入を行う
- ・浮き、はく離、鉄筋露出箇所 ⇒ 断面修復を行う



それだけで十分ですか？



- ・断面修復した範囲の鉄筋は防錆される
- ・断面修復していない範囲の鉄筋は、以後も腐食が進行する
- ・断面修復範囲以外で劣化が進行する

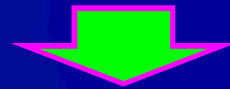


- ・せっかく補修しても別の箇所で再び補修が必要な状況に陥る

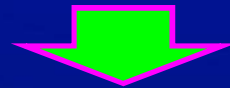
## 4. 加速期後期

### 【リハビリ工法の組合せによる総合的な補修】

- ・ひび割れ ⇒ リハビリシリンダー工法
- ・浮き、はく離 ⇒ リハビリ断面修復工法
- ・それ以外の全範囲 ⇒ リハビリカプセル工法
- ・コンクリート表面全体 ⇒ プロコンガードシステム



- ・断面修復した範囲の鉄筋は防錆される
- ・断面修復していない範囲の鉄筋も防錆される
- ・以後の劣化因子の侵入も抑制される



再劣化リスクの低減

## 5. 劣化期



### 【劣化の状態】

- ・大規模なはく離、はく落。鉄筋の著しい断面減少。
- ・変位、たわみの発生。  
⇒ 耐久性能だけでなく耐荷性能も低下

### 【定量的な劣化指標】

- ・鉄筋の断面減少率、構造物の耐荷性能  
⇒ 断面の断面減少量測定値、たわみ測定値、  
載荷試験結果など

## 5. 劣化期

### 【補修工法の主たる要求性能】

- ・耐荷性、剛性の回復  
⇒ 構造物の安全性を確保



### 【補修工法の選定】

- ・脆弱化したコンクリート部位を修復し、構造物の安全性を確保  
⇒ 断面修復工法  
断面修復工法＋補強（鋼板接着、外ケーブルなど）

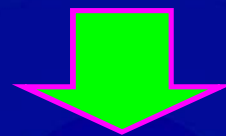
### 【備考】

- ・そもそも、劣化期に陥るまで放置すべきではない

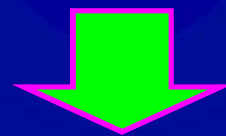
## 5. 劣化期

### 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

構造物の安全性が損なわれている場合



維持管理シナリオを選択する余裕はない



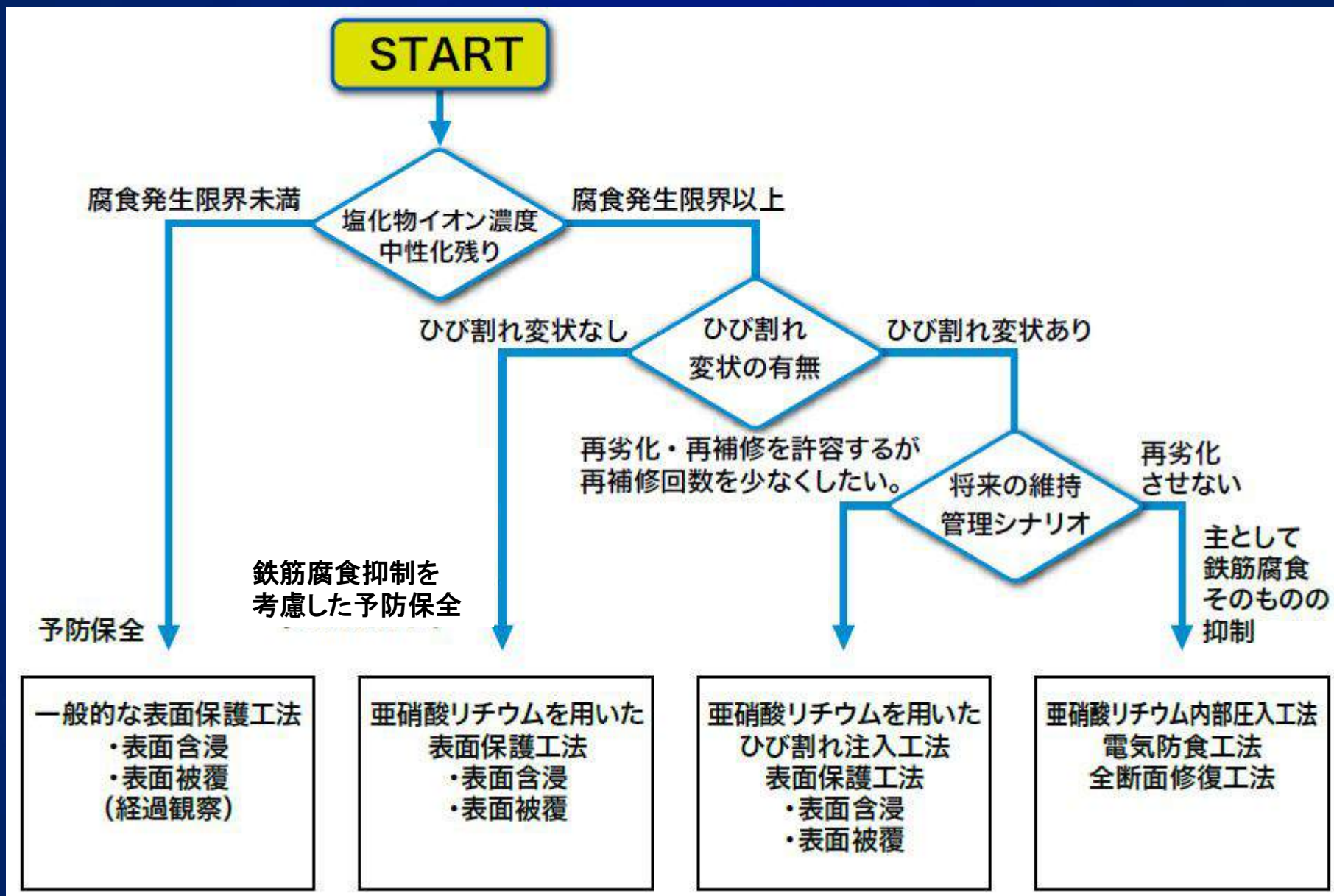
工学的に必要と判断される対策を速やかに採るべき



【塩害補修工法比較表の例（劣化程度が重篤な場合）】

	第1案 電気化学的脱塩工法	第2案 全断面修復工法	第3案 電気防食工法	第4案 亜硝酸リチウム内部圧入工法
概念図				
工法概要	<p><b>【目的】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>劣化因子(塩化物イオン)の除去</li> </ul> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表面に仮設陽極を設置して通電することにより、コンクリート内部に存在する塩化物イオンを電気化学的に除去する。</li> </ul> <p><b>【施工手順】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>内部の鉄筋をはり出し陰極とする。</li> <li>コンクリート表面に陽極材を設置し、鉄筋(陰極)と回路を形成して通電する。</li> <li>通電量は1A/m<sup>2</sup>程度、通電期間は8週間程度とする。</li> <li>通電終了後、陽極材、配線等を撤去する。</li> </ul>	<p><b>【目的】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>劣化因子(塩化物イオン)の除去</li> <li>コンクリート脆弱部の修復</li> </ul> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表層部を鉄筋背面側まではつりとり、鉄筋周囲の塩化物イオンをコンクリートごと除去する。</li> </ul> <p><b>【施工手順】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表面をウォータージェット等により全面はつりとする。</li> <li>露出させた鉄筋の表面を急入にケレンして防錆材を塗布した後、ポリマーセメントモルタル吹付工法により断面を修復する。</li> </ul>	<p><b>【目的】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋腐食の抑制</li> </ul> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表面に陽極材を設置して通電し、防食電流を流すことによってコンクリート中の鉄筋の腐食反応を電気化学的に抑制する。</li> <li>通電期間中は鉄筋腐食が生じないため、塩害による劣化は進行しない。</li> </ul> <p><b>【施工手順】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>内部の鉄筋をはり出し陰極とする。</li> <li>コンクリート表面に陽極材を設置し、鉄筋(陰極)と回路を形成する。</li> <li>通電により防食電流を流し、鉄筋腐食反応を停止させる。</li> <li>通電量は1mA/m<sup>2</sup>程度で、残存供用期間を通して通電する。</li> </ul>	<p><b>【目的】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋腐食の抑制</li> </ul> <p><b>【概要】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート表層部(鉄筋付近)に内部圧入することによって、鉄筋周囲に急速に亜硝酸イオンを供給する。</li> <li>亜硝酸イオンが鉄筋不動態被膜を再生し、以後の鉄筋腐食を抑制する。</li> </ul> <p><b>【施工手順】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートにφ10mm、L=100mmの圧入孔を500mm間隔で削孔する。</li> <li>浸透拡散型亜硝酸リチウムを充填したカプセル式圧入装置を全圧入孔設置し、コンプレッサーで加圧することによって亜硝酸リチウムを内部圧入する。</li> <li>内部圧入完了後、圧入孔をグラウト充填する。</li> </ul>
得失	<p><b>【長所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートをはつることなく内部の塩化物イオンを除去することができる。</li> <li>施工前後の塩化物イオン濃度を測定することにより、補修効果を定量的に評価することができる。</li> </ul> <p><b>【短所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>除去可能な塩化物イオンはかぶり範囲のものに限定され、鉄筋背面側に存在する塩化物イオンには対処できない。</li> <li>通電により発生する水蒸気によって鋼材が水素脆化をおこす可能性があるため注意が必要となる。</li> <li>小規模施工の場合には施工単価が割高になる。</li> </ul>	<p><b>【長所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋周囲から塩化物イオンを完全に除去することができる。</li> </ul> <p><b>【短所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>はつりとする範囲はコンクリートの浮き、剥離が生じている範囲だけでなく、全断面とするため、施工時に大断面が欠損した状態となる。</li> </ul>	<p><b>【長所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋腐食反応そのものを停止させる工法であり、理論的な信頼性は最も高い。</li> <li>塩化物イオンの有無が防食効果を左右しない。</li> <li>内在塩分による塩害に対しても適用性が高い。</li> </ul> <p><b>【短所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本機の残りの供用期間を通して通電し続ける必要があるため、電源装置や回路設備等の定期的な点検、メンテナンス、取り替え、電気代等の費用が発生する。</li> <li>陽極材の耐用年数が20～25年程度といわれており、その時点で再び電気防食工事を実施する必要がある。</li> </ul>	<p><b>【長所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>短時間で亜硝酸リチウムを確実に鉄筋位置に供給することができるため、不動態被膜再生効果が直ちに発揮され、以後の鉄筋腐食を抑制することができる。</li> <li>塩化物イオン量に応じて亜硝酸リチウム必要量を定量的に定める。</li> <li>内在塩分による塩害に対しても適用性が高い。</li> </ul> <p><b>【短所】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新工法であるため、他案に比べて施工実績が少ない。</li> </ul>
総合評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>塩分が腐食発生限界濃度を超過して存在しているもの、鉄筋腐食がまだそれほど進行していない現段階で塩分を除去できれば、それ以降の鉄筋腐食は抑制することができる。</li> <li>ただし、脱塩工法で除去できる塩化物イオンは鉄筋かぶり範囲のみであり、鉄筋背面側の塩化物イオンは除去できないため、深き方向の塩化物イオン濃度分布を見て適用可能範囲を定める必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮き、はく離箇所だけでなく、塩化物イオンを含むコンクリート全面を断面修復することにより、それ以降の鉄筋腐食を抑制することができる。</li> <li>ただし、供用中のコンクリート構造物の大断面欠損状態となるため、部位、部材の構造特性を十分考慮して適用の可否を検討する必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高濃度の塩化物イオン存在下であっても、以後の鉄筋腐食を確実に抑制することができるため、塩害による鉄筋腐食抑制としての適用性は高い。</li> <li>ただし、適用にあたっては電気防食システムのメンテナンスやランニングコストを想定した維持管理計画を立案しておく必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高濃度の塩化物イオン存在下であっても、塩化物イオン量に応じて亜硝酸リチウム必要量を算出するため、塩害による鉄筋腐食抑制としての適用性は高い。</li> </ul>

【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



## 4.2 リハビリ工法によるASR補修



# ASRの補修工法選定

## 【ASRの補修工法の要求性能】

### ①劣化因子の遮断

(外部からの水分の浸入を低減)

【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

【ひび割れ注入工法】・・・リハビリシリンダー工法

### ②ゲルの非膨張化

(アルカリシリカゲルの膨張性を消失、低減)

【亜硝酸リチウム内部圧入工】・・・ASRリチウム工法

### ③コンクリートの膨張拘束

(外部拘束によりASR膨張を物理的に抑制)

【部材接着工法・巻立て工法】

## 【ASRの劣化過程】

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]」

- 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？

# 1. 潜伏期

## 【劣化の状態】

- ・外観上の変化は見られない。  
⇒ ゲル生成過程で、膨張までは至っていない

## 【劣化指標】

- ・外観上の変状の有無  
⇒ 変状なし

## 【補修工法の主たる要求性能】

- ・水分をコンクリート内部へ侵入させない(劣化因子の遮断)  
⇒ ASRゲルの吸水膨張を起こさせない

## 【補修工法の選定】

- ・劣化因子の遮断性を有する工法から選択  
⇒ 表面保護工法
  - 表面含浸工法(プロコンガードシステム)
    - ・・・安価、モニタリング性が高い
  - 表面被覆工法(リハビリ被覆工法)
    - ・・・美観性向上、遮塩性が高い

## 【備考】

- ・ASRゲルの吸水膨張反応が生じる前に行う**予防保全**



# 1. 潜伏期

## 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

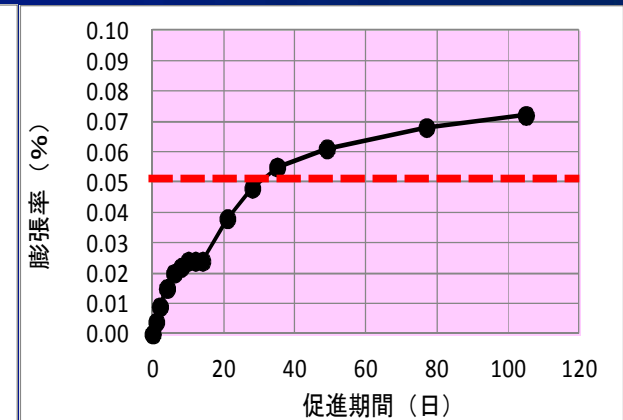
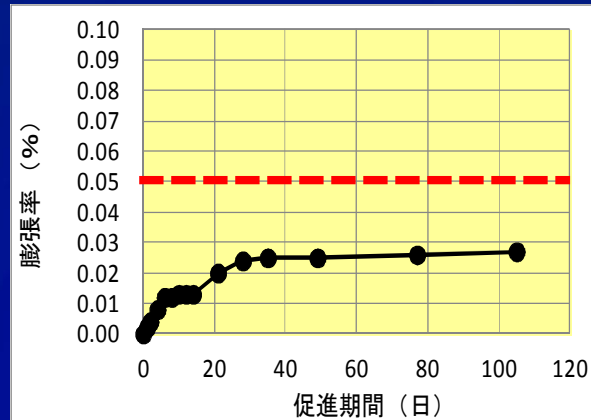
### (1) 存置、経過観察

- ・現時点で何ら変状が生じていないので、しばらく様子を見る
- ・定期的な点検、外観目視調査
  - ⇒ 点検、調査による継続的な状況把握

### (2) 表面保護工を定期的に行う

- ・表面含浸工、表面被覆工などを定期的に行う
- ・水分を遮断してASRゲルの吸水膨張反応を防ぐために行う予防保全
- ・適用する材料には耐用年数があるため、定期的に再補修を行う
  - ⇒ 劣化因子遮断性を途切れさせない

## 2. 進展期



### 【劣化の状態】

- ・ASRゲルの膨張が継続的に進行している
- ・コンクリート表面にひび割れが発生  
⇒ ゲル生成過程から膨張過程へと移行

### 【定量的な劣化指標】

- ・残存膨張量 (将来的な膨張性の有無)  
⇒ 例えばJCI-DD2法で0.05%、NaOH浸漬法で0.1%など



## 2. 進展期



### 【補修工法の主たる要求性能】

#### ①残存膨張量が無害の場合

- ・現時点で生じている変状への対応

#### ②残存膨張量が有害の場合

- ・水分をコンクリート内部へ侵入させない（劣化因子の遮断）
- ・ASRゲルの膨張性を消失、低減させる（ゲルの非膨張化）

⇒ ASRゲル膨張をこれ以上進行させない

### 【補修工法の選定】

- ・残存膨張量の有無を考慮して、劣化因子の遮断またはゲルの非膨張化を図る工法を選択する

⇒ ひび割れ注入工法(リハビリシリンダー工法)

＋表面保護工法(プロコンガードシステム)（劣化因子の遮断）

亜硝酸リチウム内部圧入工法(ASRリチウム工法)（ゲルの非膨張化）

### 【備考】

- ・劣化過程が進展期の段階で残存膨張性が収束する場合もあり得る
- ・残存膨張性の有無に応じて対策方針を選択する

## 2. 進展期

### 【維持管理シナリオに応じた補修工法（残存膨張量が有害の場合）】

#### (1) 存置、経過観察

- ・変状が軽微な段階で耐久性能への影響が小さいうちはしばらく様子を見る。
- ・定期的な点検、外観目視調査による継続的な状況把握  
⇒ 補修対策を実施するための管理限界の設定が必要

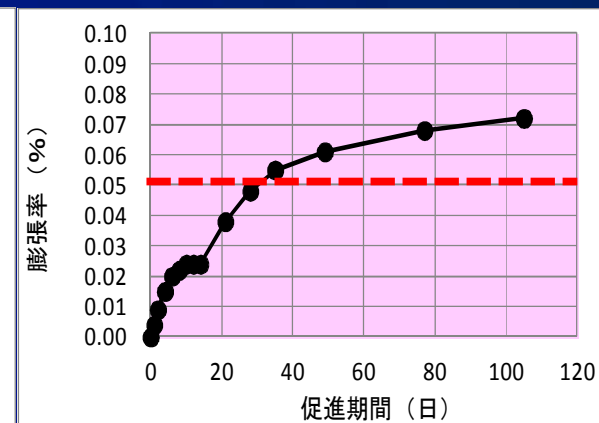
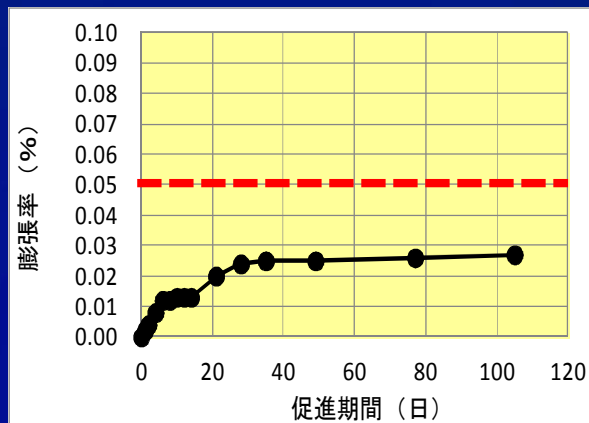
#### (2) ひび割れ注入工、表面保護工を定期的に行う

- ・水分を遮断してASRゲルの吸水膨張を可能な限り抑制する。
- ・適用する材料には耐用年数があるため、定期的に再補修を行う。  
⇒ 劣化因子遮断性を途切れさせない  
ゲル膨張抑制効果を併せ持つ各種リハビリ工法が効果的

#### (3) 費用を投じて以後のメンテナンスをフリーとする

- ・亜硝酸リチウム内部圧入工（ゲルの非膨張化による根本的なASR補修）
- ・巻き立て工法、接着工法（膨張拘束）  
⇒ 構造物の重要性や費用対効果、LCC等を十分に検討したうえで適用

### 3. 加速期



#### 【劣化の状態】

- ・ASRによる膨張速度が最大を示す。
- ・ひび割れ幅、ひび割れ密度が増大。  
⇒ 最も活発にASR膨張が進行

#### 【定量的な劣化指標】

- ・残存膨張量（将来的な膨張性の有無）  
⇒ 例えばJCI-DD2法で0.05%、NaOH浸漬法で0.1%など

### 3. 加速期



#### 【補修工法の主たる要求性能】

##### ①残存膨張量が無害の場合

- ・現時点で生じている変状への対応

##### ②残存膨張量が有害の場合

- ・水分をコンクリート内部へ侵入させない（劣化因子の遮断）
- ・ASRゲルの膨張性を消失、低減させる（ゲルの非膨張化）  
⇒ コンクリート構造物の性能をこれ以上低下させない

#### 【補修工法の選定】

- ・残存膨張量の有無を考慮して、劣化因子の遮断またはゲルの非膨張化を図る工法を選択する

⇒ ひび割れ注入工法(リハビリシリンダー工法)

＋表面保護工法(プロコンガードシステム)（劣化因子の遮断）

亜硝酸リチウム内部圧入工法(ASRリチウム工法)（ゲルの非膨張化）

#### 【備考】

- ・劣化過程が加速期の段階で残存膨張性が収束する場合もあり得る
- ・残存膨張性の有無に応じて対策方針を選択する

### 3. 加速期

#### 【維持管理シナリオに応じた補修工法（残存膨張量が大きい場合）】

##### (1) ひび割れ注入工、表面保護工を定期的に行う

- ・水分を遮断してASRゲルの吸水膨張を可能な限り抑制する。
- ・適用する材料には耐用年数があるため、定期的に再補修を行う。  
⇒ ASR膨張速度が大きいいため、短いサイクルでの再補修が必要  
LCCで評価すると割高となることが多い

##### (2) ASR膨張の根本的な抑制という工学的判断に基づく対策

- ・亜硝酸リチウム内部圧入工（ASRリチウム工法）  
（ゲルの非膨張化による根本的なASR補修）
- ・巻き立て工法、接着工法（膨張拘束）  
⇒ これらの工法を適用すれば、再劣化のリスクを限りなく低減できる  
イニシャルコストでは高価となるがLCCでは優れる場合が多い

## 4. 劣化期



### 【劣化の状態】

- ・ひび割れがさらに増大。段差やズレも生じる。
- ・鉄筋腐食、鉄筋破断、コンクリート強度の低下。  
⇒ 耐久性能だけでなく耐荷性能にも影響

### 【定量的な劣化指標】

- ・残存膨張量（将来的な膨張性の有無）
- ・構造物の耐荷性能、鉄筋破断の有無  
⇒ 劣化期に至ると、既に膨張性が収束している

## 4. 劣化期



### 【補修工法の主たる要求性能】

- ・鉄筋破断への対応、コンクリート強度低下への対応  
⇒ 構造物の安全性を確保

### 【補修工法の選定】

- ・既に膨張は収束しているため、現時点で不足する性能を補うための対処  
⇒ ひび割れ注入＋表面保護工（鉄筋腐食を抑制）  
断面修復工法  
断面修復工法＋補強（鋼板接着、連続繊維補強、鋼材追加など）

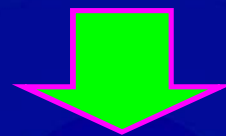
### 【備考】

- ・そもそも、劣化期に陥るまで放置すべきではない

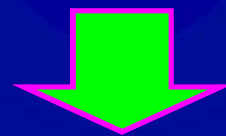
## 4. 劣化期

### 【維持管理シナリオに応じた補修工法】

構造物の安全性が損なわれている場合



維持管理シナリオを選択する余裕はない

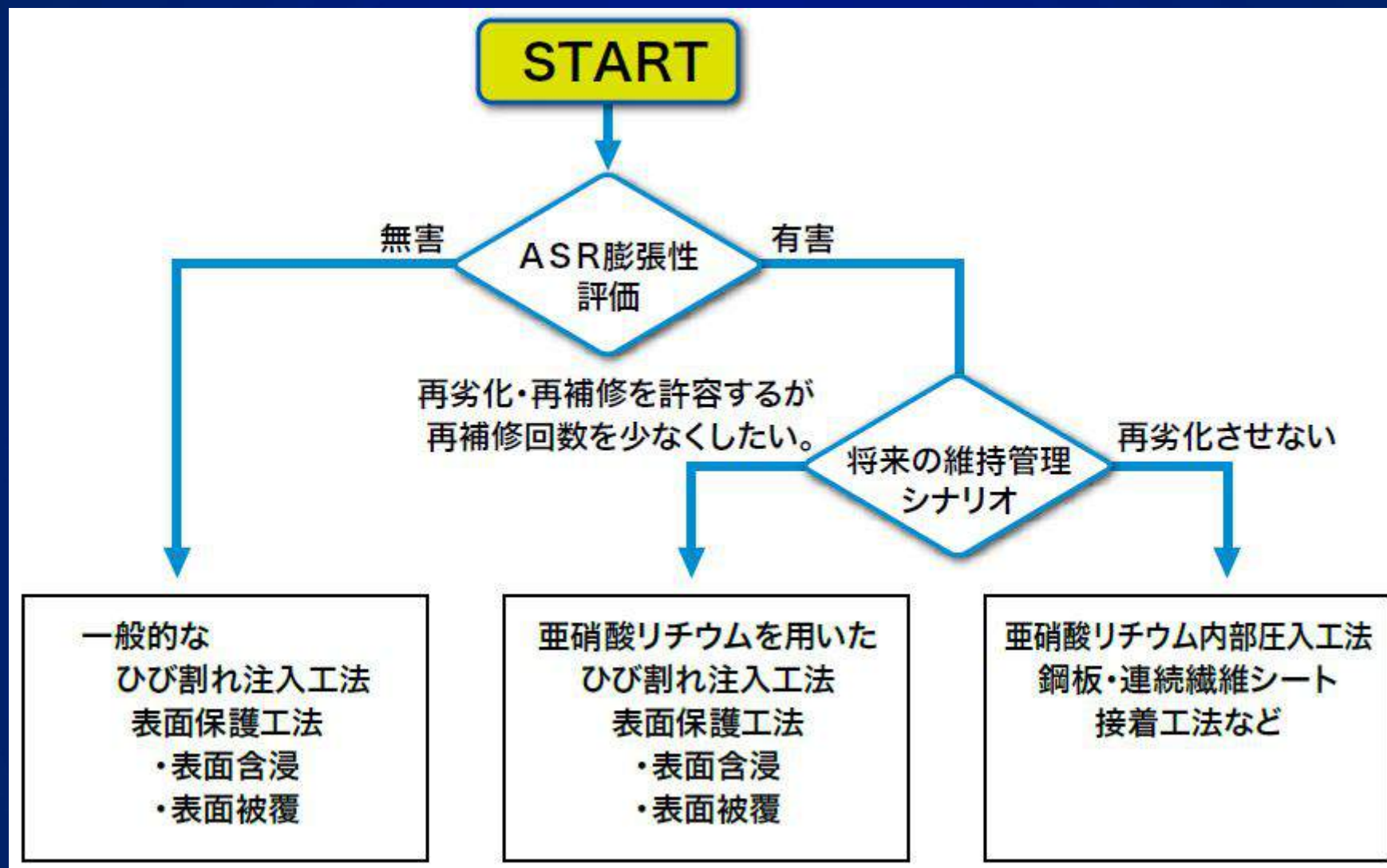


工学的に必要と判断される対策を速やかに採るべき



【ASR 補修工法比較表の例（残存膨張量が大きい場合）】

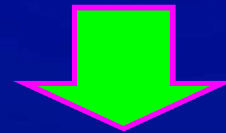
	再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ			再劣化を許容しない維持管理シナリオ
	第1案 表面被覆工(有機系柔軟型被覆材) + ひび割れ注入工(エポキシ樹脂系)	第2案 表面含浸工(シラン系) + ひび割れ注入工(エポキシ樹脂系)	第3案 表面含浸工(亜硝酸リチウム+ケイ酸リチウム) + ひび割れ注入工(亜硝酸リチウム+超微粒子セメント)	第4案 内部圧入工(亜硝酸リチウム) + ひび割れ注入工(亜硝酸リチウム+超微粒子セメント)
概念図				
工法概要	<p><b>【目的】</b> ・劣化因子(水分)浸入の遮断</p> <p><b>【概要】</b> ・ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞するとともに、コンクリート表面に有機系表面被覆材を塗布し、外部からの水分浸入を遮断する。</p> <p><b>【施工手順】</b> ・幅 0.2mm 以上のひび割れに対し、ひび割れ追従性のある注入材(エポキシ樹脂3種)を注入する。 ・コンクリート表面を下地処理し、必要に応じて不陸修正を行う。 ・プライマー塗布後、エポキシ樹脂系下塗り材1層、アクリルゴム系中塗り材3層、アクリルウレタン系上塗り材2層をローラーで塗り重ね、表面保護層を形成する。</p>	<p><b>【目的】</b> ・劣化因子(水分)浸入の抑制</p> <p><b>【概要】</b> ・ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞するとともに、シラン系表面含浸工法にてコンクリート表面に撥水層を形成し、水分の浸入を抑制する。</p> <p><b>【施工手順】</b> ・幅 0.2mm 以上のひび割れに対し、ひび割れ追従性のある注入材(エポキシ樹脂3種)を注入する。 ・コンクリート表面を下地処理を行った後、シラン系表面含浸材を塗布し、コンクリート内部へ含浸させる。</p>	<p><b>【目的】</b> ・劣化因子(水分)浸入の抑制 ・ASRゲルの非膨張化(表層部のみ)</p> <p><b>【概要】</b> ・ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞するとともに、ケイ酸塩系表面含浸工法にてコンクリート表面を緻密化し、水分の浸入を抑制する。 ・ひび割れ注入材、表面含浸材の使用材料に、ASR膨張抑制効果のある亜硝酸リチウムを併用する。</p> <p><b>【施工手順】</b> ・幅 0.2mm 以上のひび割れに対し、浸透拡散型亜硝酸リチウムを先行注入した後、超微粒子セメント系注入材を注入する。 ・コンクリート表面を下地処理を行い、コンクリート表面に亜硝酸リチウム系含浸材、ケイ酸リチウム系含浸材の順で塗布含浸させる。</p>	<p><b>【目的】</b> ・ASRゲルの非膨張化(全体)</p> <p><b>【概要】</b> ・ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞した後、小径の圧入孔を削孔し、そこから浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート全体に内部圧入する。 ・コンクリート全体に亜硝酸リチウムを浸透させることにより、全ての ASR ゲルを非膨張化し、以後の ASR 進行を根本的に抑制する。</p> <p><b>【施工手順】</b> ・0.2mm 以上のひび割れに対し、浸透拡散型亜硝酸リチウムを先行注入した後、超微粒子セメント系注入材を注入する。 ・ダイヤモンドコアドリルにてφ20mm の圧入孔を750mm 間隔で削孔する。 ・油圧式内部圧入装置を用いて浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート全体に内部圧入し、圧入孔を無収縮グラウト材にて埋め戻す。</p>
得失	<p><b>【長所】</b> ・表面被覆工法は表面含浸工法に比べて劣化因子の遮断性に優れる。 ・エポキシ樹脂注入材3種および柔軟型被覆材は、以後の多少のひび割れ進展に対して追従性がある。</p> <p><b>【短所】</b> ・期待されるのはあくまで水分の浸入抑制であり、ASR膨張そのものを抑制する効果はないため、ASR膨張性は高いまま維持される。 ・遮水性の高い材料であるため、コンクリート内部からの水分を外に出すことはできない。 ・被覆材にてコンクリート表面が覆われるため、以後のモニタリングは困難となる。 ・再劣化の度に圧縮強度や静弾性係数の低下が進み、残存耐久性は低下していく。 ・再補修の度に足場工事の仮設が必要となる。</p>	<p><b>【長所】</b> ・シラン系表面含浸材は被膜を生成せず、細孔を埋めることがないため、内部からの水蒸気透過を阻害しない。 ・エポキシ樹脂注入材3種は、以後の多少のひび割れ進展に対して追従性がある。 ・施工後もコンクリート表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが容易である。</p> <p><b>【短所】</b> ・期待されるのはあくまで水分の浸入抑制であり、ASR膨張そのものを抑制する効果はない。 ・水分の遮断性は表面被覆工法よりも劣る。 ・再劣化の度に圧縮強度や静弾性係数の低下が進み、残存耐久性は低下していく。 ・再補修の度に足場工事の仮設が必要となる。</p>	<p><b>【長所】</b> ・ひび割れ注入工、表面含浸材による水分浸入抑制にとどまらず、各種修補材に併用した亜硝酸リチウムがコンクリート表層部の ASR 膨張性を低減させる。 ・ケイ酸塩系表面含浸材は皮膜を形成しないため、内部からの水蒸気透過を阻害しない。 ・施工後もコンクリート表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが容易である。</p> <p><b>【短所】</b> ・ひび割れ注入材にひび割れ追従性はない。 ・水分の遮断性は表面被覆工法よりも劣る。</p>	<p><b>【長所】</b> ・亜硝酸リチウムをコンクリート全体に浸透させることにより、コンクリート内の全ての ASRゲルを非膨張化することができるため、以後の ASR膨張を根本的に抑制できる。 ・ASR 抑制効果が水分供給の有無に左右されないため、水分供給を完全に遮断できない条件下でも十分に ASR 膨張抑制効果を期待することができる。 ・補修後の ASR 進行を想定しないため再補修が不要となり、LCC で比較すると安価となる。</p> <p><b>【短所】</b> ・施工工種が多く、施工日数が多い。 ・イニシャルコストだけで比較すると他案よりも高価となる。</p>
総合評価	<p>・水分浸入遮断により ASR 進行を遅らせる対症療法的な工法であり、ASR 膨張性自体を低減することはできないため、再劣化することを想定した維持管理シナリオの下で適用される。 ・コンクリート内部に水分を閉じ込めてしまい、ASR を助長した事例もあるため、適用部位には注意が必要となる。</p>	<p>・水分浸入抑制により ASR 進行を遅らせる対症療法的な工法であり、ASR 膨張性自体を低減することはできないため、再劣化することを想定した維持管理シナリオの下で適用される。 ・以後のモニタリングは容易であり、補修後の経過観察と併せて適用される。</p>	<p>・水分の浸入抑制のみならず、ASR 膨張抑制効果も併せ持つ工法であるため、単なる水分浸入抑制のみの工法に比べて、以後の ASR 膨張の進行を低減することも期待できる。 ・再劣化することを想定した維持管理シナリオの下で適用される工法であるが、再劣化までの期間を延命することが期待される。 ・以後のモニタリングも容易であり、補修後の経過観察と併せて適用される。</p>	<p>・亜硝酸リチウムによる ASRゲルの非膨張化を最も積極的に図る工法であり、ASR 膨張を根本的に抑制できる唯一の工法である。 ・残存膨張性が高い構造物に対しても適用性が高く、再劣化を許容しない構造物への適用が効果的である。</p>



おわりに

## 【あらためて、リハビリ工法とは】

- ・亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法の総称
- ・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