

コンクリートの劣化と補修技術



一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
極東興和株式会社

江良 和徳

1. コンクリートの劣化

- 塩害
- 中性化
- ASR

1. 1 塩害・中性化



【塩害】…劣化メカニズム

原因

- ・種々の原因で塩化物イオンがコンクリート中に浸入
- ・侵入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ浸透



劣化進行

- ・塩化物イオンが鉄筋位置に到達
- ・鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量(腐食発生限界)を超えると、鉄筋の不動態皮膜が破壊され、鉄筋腐食が生じる



性能低下

- ・ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出など
- ・コンクリートと鉄筋との付着が低下
- ・鉄筋断面の減少

【塩害】・・・腐食発生限界塩化物イオン濃度

腐食発生限界塩化物イオン濃度

- ・2018年制定コンクリート標準示方書[維持管理編]より、**みなし規定なし**
- ・使用材料や配合、含水状態などに影響され、個々の構造物により異なる
- ・点検結果に基づいて設定する
- ・算定式による設定

(a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$$

ただし、W/Cは0.3～0.55の範囲

$$W/C=0.55のとき、C_{lim} = 1.75\text{kg/m}^3$$

$$W/C=0.30のとき、C_{lim} = 2.50\text{kg/m}^3$$

(b) 高炉セメントB種、フライアッシュセメントB種相当を用いた場合

$$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1$$

ただし、W/Cは0.3～0.55の範囲

$$W/C=0.55のとき、C_{lim} = 1.67\text{kg/m}^3$$

$$W/C=0.30のとき、C_{lim} = 2.32\text{kg/m}^3$$

(c) 低熱ポルト・・・

【塩害】・・・劣化事例



必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物(部材)の性能低下が生じる

【中性化】・・・劣化メカニズム

原因

- ・大気中の二酸化炭素がコンクリート中に浸入
- ・二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液中のpHを低下(pH=11以下)させる



劣化進行

- ・中性化領域はコンクリート表面から内部に向かって進行
- ・中性化領域が鉄筋付近まで到達すると鋼材の不動態皮膜が破壊される
- ・さらに水分が供給されることによって鉄筋が腐食する



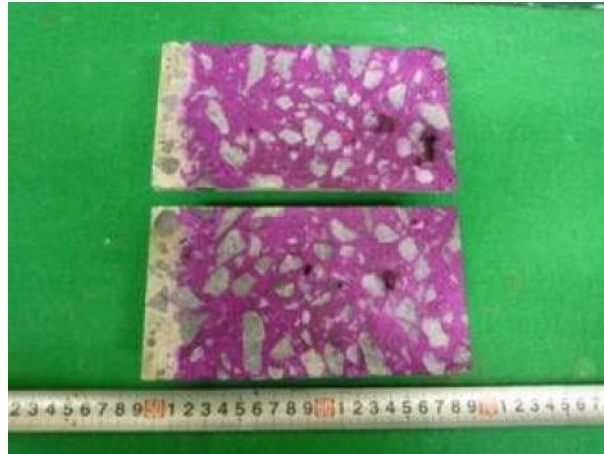
性能低下

- ・ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出など
- ・コンクリートと鉄筋との付着が低下
- ・鉄筋断面の減少

【中性化】・・・中性化深さと水掛かり

中性化深さ

- ・フェノールフタレイン溶液を吹き付けたときの**非発色部分**
- ・コア試料、はつり箇所、**ドリル削孔による粉末**等により試験を実施
- ・一般的に鋼材腐食発生限界は**中性化残り10mm**



水掛かりの影響

- ・中性化の進行は**水の影響**を大きく受ける
- ・同一部材、同一コンクリート品質であっても中性化深さに差が生じる
- ・水の影響を受ける場所、受けない場所でそれぞれ中性化深さ試験を実施
- ・**湿潤環境**では中性化残り10mm以上であっても腐食開始

【中性化】・・・劣化事例



壁高欄のコンクリートはく落

- ・道路橋壁高欄
- ・自動車の排気ガスによるCO₂供給
- ・はく離箇所以外の鉄筋も腐食

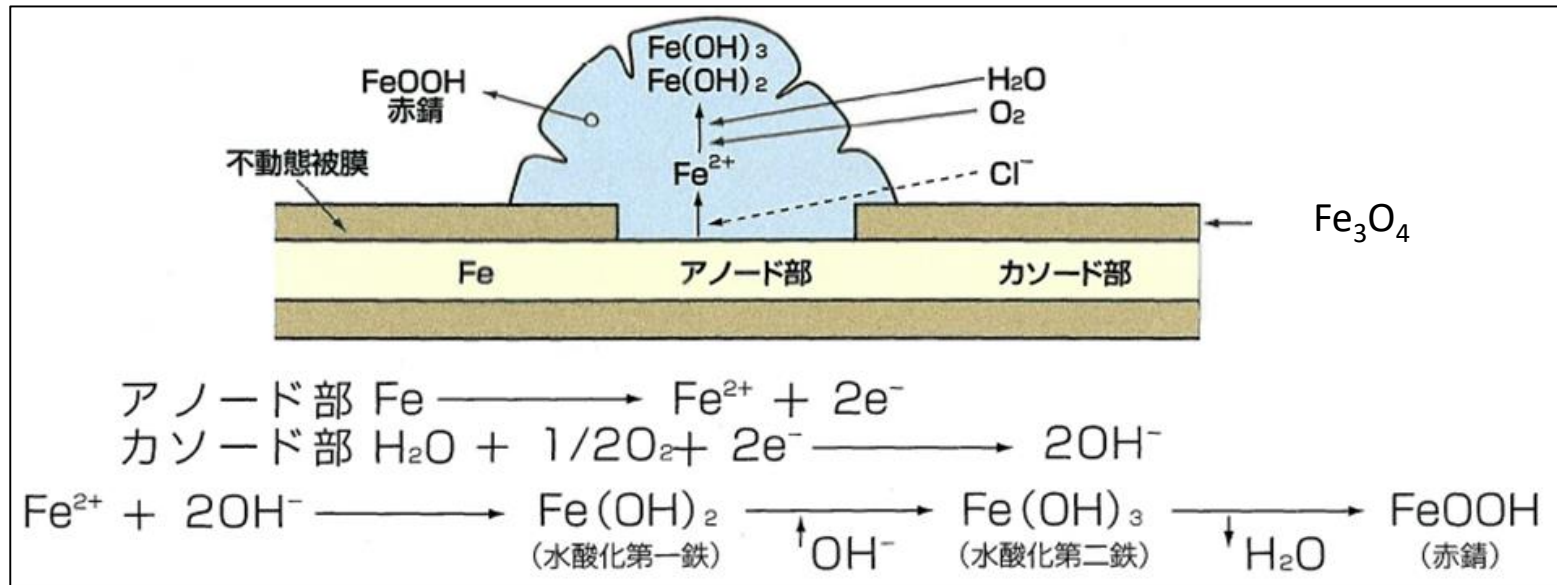


張出し床版下面の鉄筋露出

- ・RC上部工の張出し床版下面
- ・もともと鉄筋かぶりが不足
- ・早期に中性化領域が鉄筋位置に到達

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物(部材)の性能低下が生じる

【塩害・中性化】 … 不動態皮膜と鉄筋腐食



- 不動態皮膜：高アルカリ環境下の鋼材において、鋼材表面に酸素が化学吸着して緻密な酸化物層を形成し、**腐食しにくい状態**
- 不動態皮膜の破壊：腐食発生限界を超える**塩化物イオン**存在下(塩害)鋼材周囲の**pH低下**(中性化)
- アノード反応：電子2個を鉄筋中に残し、鉄がイオンとなって溶出する反応
- カソード反応：アノード反応によって生じる電子を消費する反応



この2つの反応が同時に生じるのが鉄筋腐食反応

1. 2 アルカリシリカ反応(ASR)



【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化メカニズム

原因

- ・コンクリート中は高アルカリ環境である
- ・コンクリート構造物は雨水や地下水などにより水分を供給されやすい
- ・コンクリートの骨材として反応性骨材が使用された



劣化進行

- ・コンクリート中の反応性骨材が、アルカリ分と反応してアルカリシリカゲルを生成
- ・アルカリシリカゲルの吸水膨張により、コンクリートにひび割れが生じる

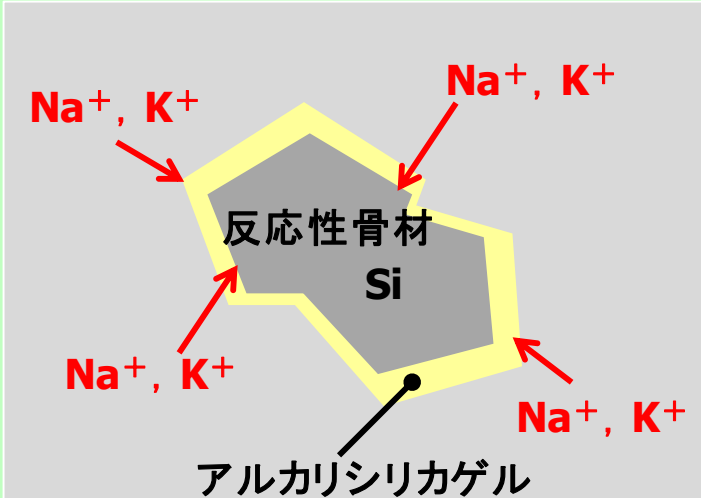
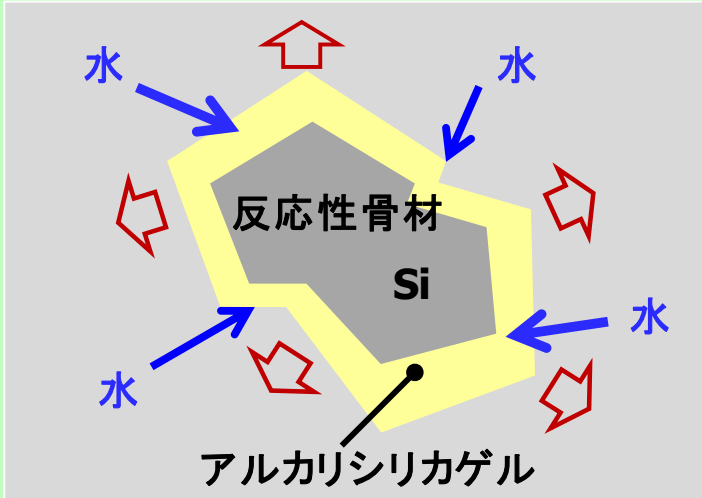


性能低下

- ・ひび割れ進展、白色ゲル析出、段差、異常変形など
- ・圧縮強度、静弾性係数の低下、鉄筋腐食、鉄筋破断など

【アルカリシリカ反応(ASR)】 … アルカリシリカゲルの模式図

技術資料 No. 20

	第1ステージ 『アルカリシリカゲルの生成』	第2ステージ 『アルカリシリカゲルの膨張』
概念図		
反応式	$\text{nSiO}_2 + 2\text{NaOH}$ (シリカ鉱物) (アルカリ) $\rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{nSiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (アルカリシリカゲル)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{nSiO}_2 + \text{mH}_2\text{O}$ (アルカリシリカゲル) (水) $\rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{nSiO}_2 \cdot \text{mH}_2\text{O}$ (吸水膨張!)

【アルカリシリカ反応(ASR)】 … 劣化事例



ASRの原因と劣化進行に鉄筋腐食は関与していない
ただし、ASRひび割れが起点となって鉄筋腐食が進行することもある

2. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

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

2. 1 亜硝酸リチウムとは

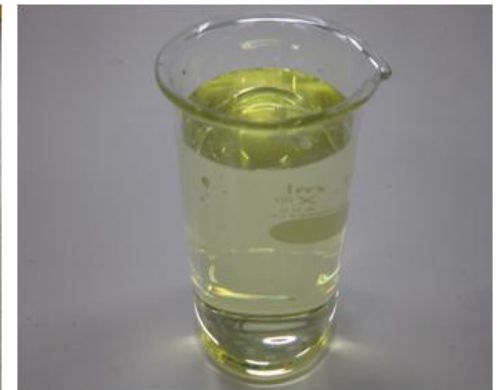


亜硝酸リチウム製品の一例『プロコン40』

【亜硝酸リチウムとは】

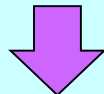
- ・亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有するコンクリート補修材料
- ・原材料は「天然ガス」、「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40% (限界濃度)

Lithium Nitrite ; LiNO_2



亜硝酸イオン
 NO_2^-

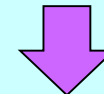
不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する



『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

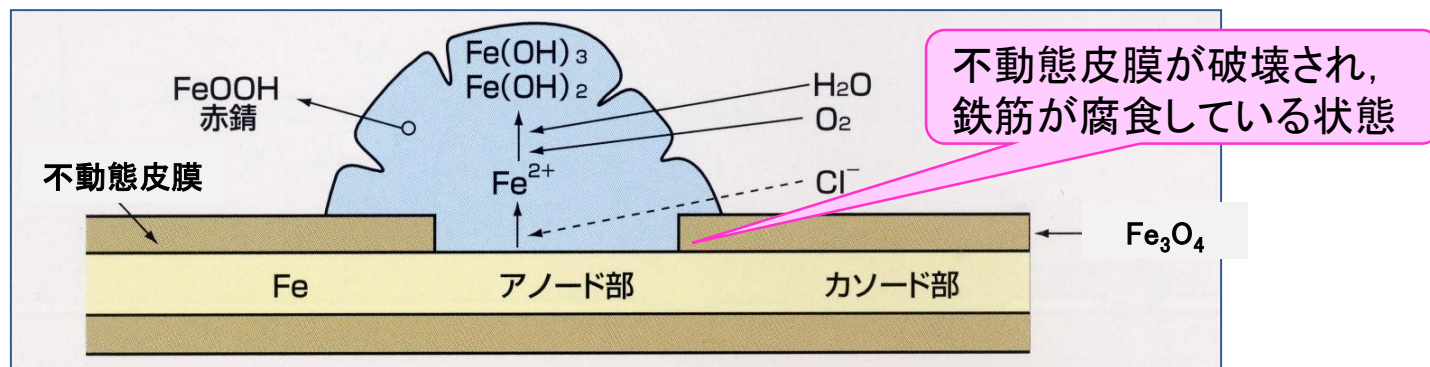
アルカリシリカゲルを
非膨張化する



『ASR対策』

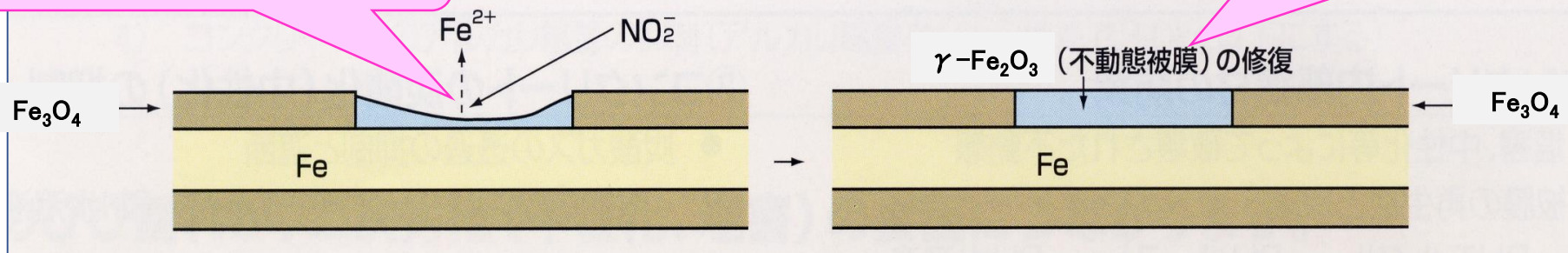
【亜硝酸リチウムとは】 … 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制

- ・塩害, 中性化はいずれも不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題
⇒ 塩害, 中性化対策とは, 共に鉄筋腐食の抑制を図ること
- ・亜硝酸イオン(NO_2^-)の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告



鉄筋周囲に亜硝酸イオン (NO_2^-) が供給されると...

亜硝酸イオン (NO_2^-) が不動態皮膜を再生する



亜硝酸イオン(NO_2^-)による不動態被膜再生メカニズム

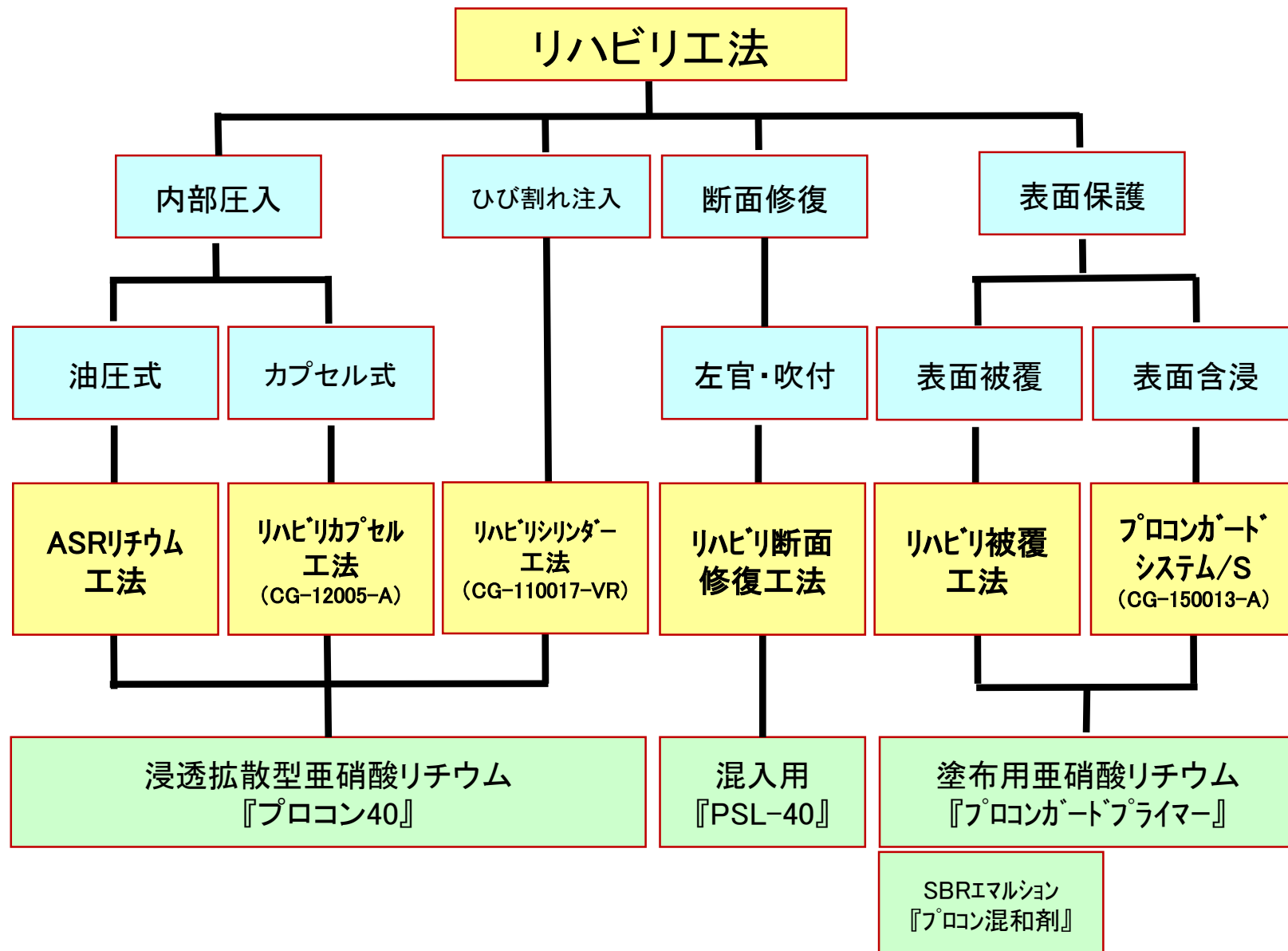
【亜硝酸リチウムとは】 … リチウムイオンによるゲル非膨張化

- ・ASRは反応性骨材周囲に生成したアルカリシリカゲルの吸水膨張
⇒ ASR対策とは、ゲルの吸水膨張を抑制すること
- ・リチウムイオン(Li^+)のASR膨張抑制に関する研究は1950年代から多数報告

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

リチウムイオン(Li^+)によるアルカリシリカゲルの非膨張化

【亜硝酸リチウムを用いた補修工法一覧】



2. 2 ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』



NETIS:CG-110017-VR

REHABILI

プロコン40

リハビリ工法

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術 NETIS:CG-110017-VR

ひび割れ低圧注入

リハビリシリンダー工法

特 徴

スプリング圧による自動低圧注入機！

ひび割れ低圧注入「リハビリシリンダー工法」は、注射器型のひび割れ注入器「リハビリシリンダー」を用いてコンクリートのひび割れを充填、閉塞させる補修技術です。「リハビリシリンダー」に内蔵された特殊スプリングにより、シリンダー内部にセットしたひび割れ注入材を最後まで一定圧力で自動注入することができます。

流動性に優れた超微粒子セメント系注入材！

ひび割れ低圧注入「リハビリシリンダー工法」に使用する注入材は超微粒子セメント系注入材です。そのスラリーは粘性が低く流動性に優れているため微細なひび割れにも浸透し、緻密な硬化体を形成します。また、超微粒子セメント系注入材に先立って浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を先行注入することによってひび割れ内部の湿度状態が長期間持続し、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！

一般的に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。

施工仕様

注 入 装 置: 自動低圧注入器「リハビリシリンダー」

注 入 材: 超微粒子セメント系ひび割れ注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液「プロコン40」

注 入 圧 力: 0.1MPa～0.2MPa程度

ひび割れ幅: 0.2mm～1.0mm程度

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはアブサンダー等により下地処理します。
2. リハビリシリンダーを固定する座金をひび割れに沿って250mm間隔で設置します。
3. 座金間のひび割れをポリマーセメントモルタルにてシールします。
4. リハビリシリンダーに「プロコン40」を充填し、座金にセットしてひび割れ内に先行注入します。
5. 超微粒子セメント系注入材をリハビリシリンダーに充填し、座金にセットしてひび割れに本注入します。
6. 注入材が硬化した後、リハビリシリンダーと座金を撤去し、シール材を除去します。

工法概念図

ひび割れ注入工

リハビリシリンダー設置状況

座金設置状況

プロコン40の先行注入状況

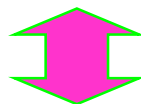
超微粒子セメント系注入材の本注入状況

【リハビリシリンダー工法】 … 一般工法との違い

一般的なひび割れ注入工法

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

- 目的
- ・ひび割れの閉塞
 - ・ひび割れを通じた劣化因子の遮断



リハビリシリンダー工法

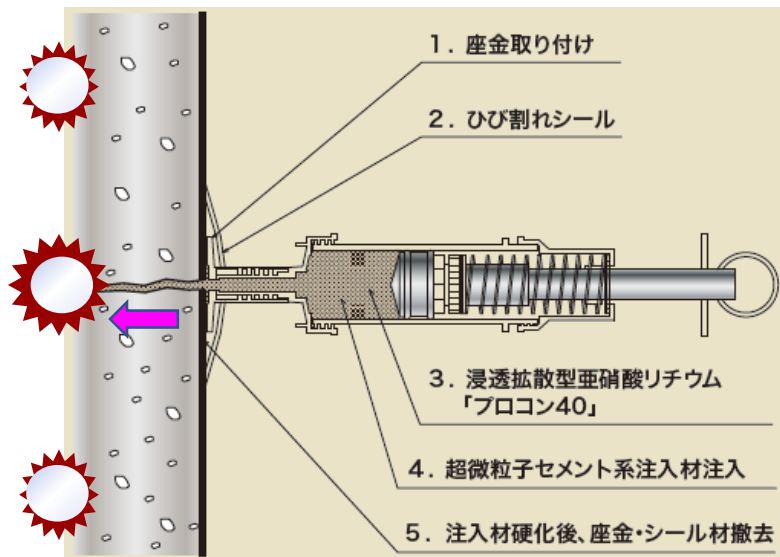
- 材料
- ・セメント系注入材 + 浸透拡散型亜硝酸リチウム

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

【リハビリシリンダー工法】…工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』

付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与



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

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つひび割れ注入工法

【リハビリシリンダー工法】 … メリットとデメリット

リハビリシリンダー工法のメリット

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

リハビリシリンダー工法のデメリット

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

リハビリシリンダー工法の適用範囲

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

リハビリシリンダー工法の積算

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

2. 3 表面含浸工法 『プロコンガードシステムS』



REHABILI
プロコンガード
リハビリ工法

亜硝酸リチウムとシラン・シロキサン系表面含浸材を併用した塩害・中性化・ASR補修技術

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法
プロコンガードシステムS

プロコンガードシステムSとは

プロコンガードシステムは、亜硝酸リチウムを主成分とする含浸材『プロコンガードプライマー』と、シラン・シロキサンを主成分とする含浸材『プロコンガードS』を組み合わせた亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法です。

従来の表面含浸材は主に劣化因子の遮断を目的としており、その適用範囲は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Sは、劣化因子の遮断に加え、亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆効果とアルカリシリカ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期などの段階であっても、1歩踏み込んだ予防保全対策として適用することができます。プロコンガードシステムは他の表面含浸工法と同様にコンクリートの外観を変え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S（シラン・シロキサン系含浸材）がコンクリート表層部で、吸水防止層を形成して、水分・塩化物イオン、二酸化炭素などの劣化因子の侵入を防ぎます。

劣化抑制メカニズム

■塩害、中性化の補修の場合、プロコンガードプライマー（亜硝酸リチウム系含浸材）に含まれる亜硝酸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層部では、アルカリシリカゲルが非膨張化され、以後のASR膨張の進行を抑制します。

期待される効果

- 塩害補修：劣化因子（塩化物イオン）の侵入遮断＋鉄筋腐食抑制（不動態被膜再生）
- 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（不動態被膜再生）
- ASR補修：劣化因子（水分）の侵入遮断＋ASR膨張抑制（ゲルの非膨張化）

施工手順

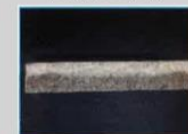
- ①下地処理
サンダーケレン及び高圧水洗い等でコンクリート表面の脆弱層や汚れを除去する。
- ②『プロコンガードプライマー』の塗布
剛毛及びローラー等で規定量（標準塗布量0.3kg/m²）を塗布する。
- ③『プロコンガードS』の塗布
剛毛およびローラー等で有効成分規定量（標準塗布量0.18kg/m²）を塗布する。

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、乾燥状態を確認して下さい。（水分率6%以下）
- 0℃以上で施工して下さい。



性状：ジェル状



吸水防止層：均一・高密度

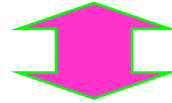
施工概念図



【プロコンガードシステム/プロコンガードシステムS】 … 一般工法との違い

一般的な表面含浸工法

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



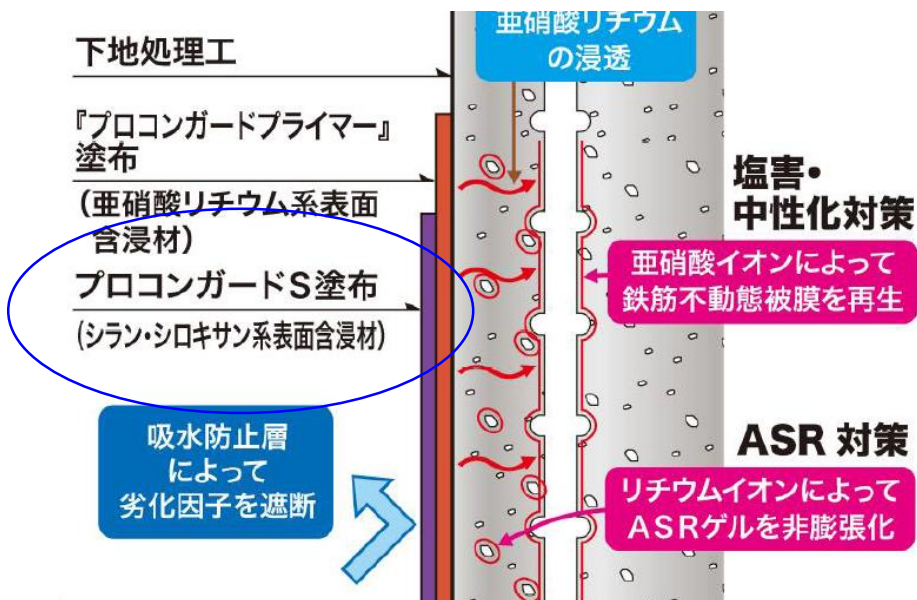
プロコンガードシステムS

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

【プロコンガードシステムS】 … 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『シラン・シロキサン系含浸材による劣化因子の遮断』

付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与



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

鉄筋腐食抑制効果(表層部)を併せ持つ表面含浸工法

【プロコンガードシステムS】 … メリットとデメリット

プロコンガードシステムSのメリット

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

プロコンガードシステムSのデメリット

- ・**2種類**の材料を塗布しなければならない

プロコンガードシステムSの適用範囲

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

プロコンガードシステムSの積算

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

2. 4 断面修復工『リハビリ断面修復工』



REHABILI

PSL-40

リハビリ工法

断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液『PSL-40』
を用いた塩害・中性化・ASR補修技術

リハビリ
断面修復工法

特徴

亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルによる劣化部の修復！

リハビリ断面修復工法は、塩害・中性化・ASRで劣化したコンクリートの断面修復に適しています。塩化物イオン量・アルカリ砂量に適応した量の断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を含有したポリマーセメントモルタルを使用します。ポリマーセメントモルタルは付着性に優れたものを使用し、毎材コンクリートとの一体性を確保することが出来ます。また、左官工法、湿式吹付工法での施工が容易で、組織が緻密であるため中性化も進行しにくくなり、耐久性に優れます。

亜硝酸リチウムによる塩害・中性化抑制効果の付与！

塩害や中性化などで劣化したコンクリート構造物に対し、リハビリ断面修復工法を適用する場合、まず、劣化したコンクリートをハズリ取り露出した鉄筋表面に防錆材として、『プロコンガードプライマー』と『リハビリペースト』を塗布します。その後、断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液を混入したポリマーセメントモルタルで断面修復をすることによって、鉄筋周囲の亜硝酸リチウムによる防錆効果を持続させ、鉄筋の腐食を長期にわたって抑制します。

施工仕様

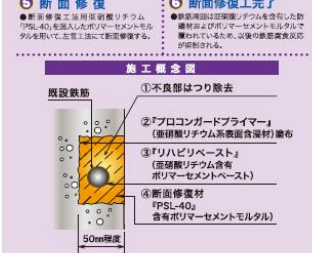
補修方法：左官工法・湿式吹付工法による断面修復
断面修復材：断面修復工法用亜硝酸リチウム40%水溶液『PSL-40』
含有ポリマーセメントモルタル
鉄筋防錆剤：『プロコンガードプライマー』（亜硝酸リチウム系表面含浸材）
『リハビリペースト』（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト）

施工手順

1. コンクリートの脆弱な範囲を電動ピック等ではつり取ります。
2. 露出した鉄筋の表面をディスクサンダー等によりクレンし、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。（各分層において湿合量を調整する。）

物 性 例				
試験項目	材 質	亜硝酸リチウム 20kg/m配合	亜硝酸リチウム 55kg/m配合	備 考
圧縮強度 (N/mm ²)	7日	21.4	20.3	40×40×160mm 試験体
	28日	47.2	42.6	
	28日	60.3	57.2	
曲げ強度 (N/mm ²)	7日	4.7	4.7	40×40×160mm 試験体
	28日	8.5	8.3	
	28日	9.4	9.3	
長さ変化率 (x10 ⁻⁴)	28日	-4.3	-4.7	40×40×160mm 試験体20℃、60%RH 試験体20℃、60%RH、 CO ₂ =5%
	28日	0	0	

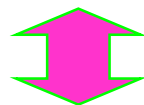
※試験例であり、保証値ではありません。
ポリマーセメントSP『PSL-40』を混入した、物性値です。



【リハビリ断面修復工】 … 一般工法との違い

一般的な断面修復工法

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



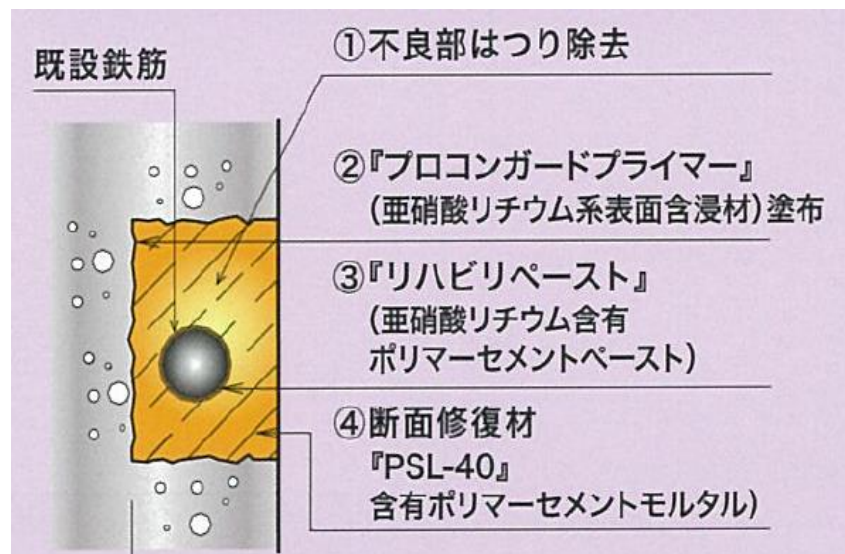
リハビリ断面修復工法

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

【リハビリ断面修復工法】 … 塩害、中性化の補修の場合

基本性能 『コンクリート脆弱部の除去と修復』

付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』



- ① かぶりコンクリートの不良部をはつりとり，鉄筋を露出させる
- ② 露出した鉄筋の錆をケレンした後，亜硝酸リチウム系含浸材および亜硝酸リチウム含有ペーストを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
- ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルにて断面欠損部を修復する

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ断面修復工法

【リハビリ断面修復工法】 … メリットとデメリット

リハビリ断面修復工法のメリット

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

リハビリ断面修復工法のデメリット

- ・亜硝酸リチウム混入量が多くなると、単位当たりの施工費が高価となる

リハビリ断面修復工法の適用範囲

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

リハビリ断面修復工法の積算

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

2. 5 内部圧入工法(その1) 『リハビリカプセル工法』



NETIS:CG-120005-A

REHABILI

プロコン40

リハビリ工法

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』
を用いた塩害・中性化・ASR補修技術

NETIS:CG-120005-A

簡易型高圧注入

リハビリカプセル工法

特 徴

根本的なASR抑制対策!

簡易型高圧注入「リハビリカプセル工法」は、アルカリシリカ反応(ASR)によって著しく劣化した小規模なコンクリート構造物または部位を根本的に治療する補修技術です。劣化した範囲全体に浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部注入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを膨脹化するため、以後のASR劣化の進行を根本的に抑制することができます。

効果的な鉄筋防錆対策!

簡易型高圧注入「リハビリカプセル工法」は、鉄害や中性化によって著しく劣化した小規模なコンクリート構造物または部位の鉄筋腐食を効果的に治療する補修技術でもあります。鉄筋近傍のコンクリートに浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部注入することにより、鉄筋周囲に不動態被膜を再生するため、以後の鉄筋腐食反応を効果的に抑制することができます。

簡易な注入装置にて合理的に補修対策!

簡易型高圧注入装置「リハビリカプセル」は、大規模施工用の強圧式注入装置「リハビリ注入機」と同等の圧入性能を有する小容量タイプの装置です。したがって、床下やボックスカルバートなど部材厚の小さな構造物の補修や折損のみの部分的な補修のように、施工規模が小さい場合に合理的かつ経済的に適用することができます。

施工仕様

注入装置: カプセル式高圧注入機「リハビリカプセル」
 拘 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当量(ASRの場合)や塩化物イオン量(塩害の場合)に応じて定量的に決定
 注入圧力: 0.1MPa~0.5MPaの範囲内でコンクリートの劣化程度に応じて構造物毎に決定
 注 入 孔: 別孔径はφ10mm
 別孔間隔は500mmを標準とする
 (部材寸法や構造規模に応じて決定)
 別孔深さは75mm~250mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはディスクサンダー等により下地処理します。
2. ひび割れ注入および表面シールを行い、圧入時の「プロコン40」の漏出を防ぎます。
3. 鉄筋検査を行った後に注入孔を制孔します。
4. リハビリカプセル、コンプレッサーを設置します。
5. 全圧入孔に対し本高圧注入機を行い、「プロコン40」の設計量を内部注入します。
6. エポ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。

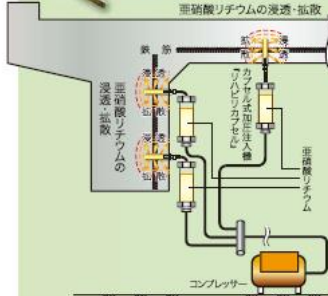
施工事例




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

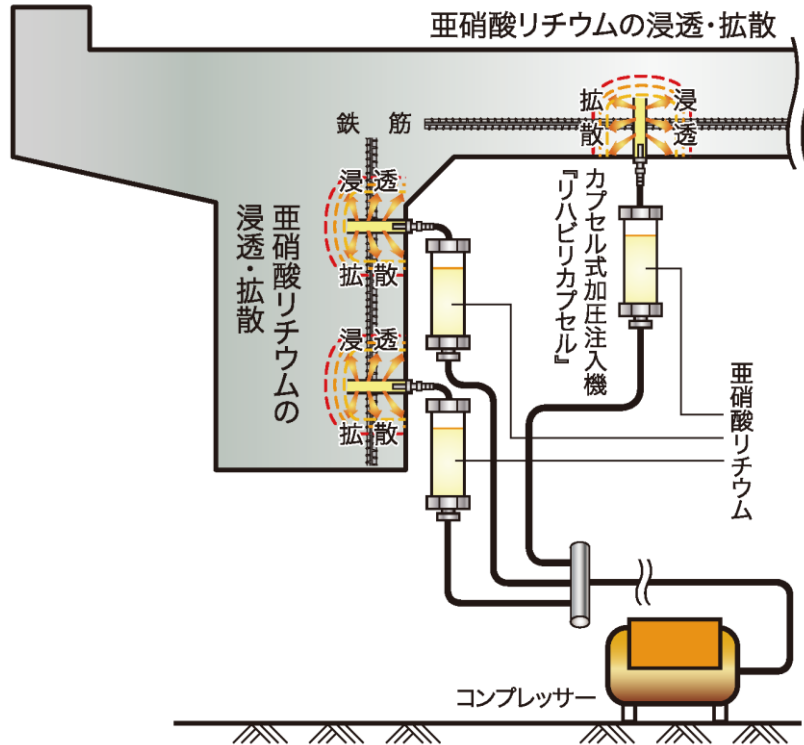
亜硝酸リチウム

コンプレッサー

【リハビリカプセル工法】 … 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

(NETIS:CG-120005-VR)



- ①コンクリートに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

不動態皮膜を早急かつ確実に再生する

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果のみを目的とした工法

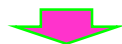
【リハビリカプセル工法】 … 施工状況



【リハビリカプセル工法】 … メリットとデメリット

リハビリカプセル工法のメリット

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



- ・腐食発生限界を超える塩化物イオン存在下でも鉄筋を腐食させない。

リハビリカプセル工法のデメリット

- ・亜硝酸リチウム圧入量が多くなると、施工費が高価となる

リハビリカプセル工法の適用範囲

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

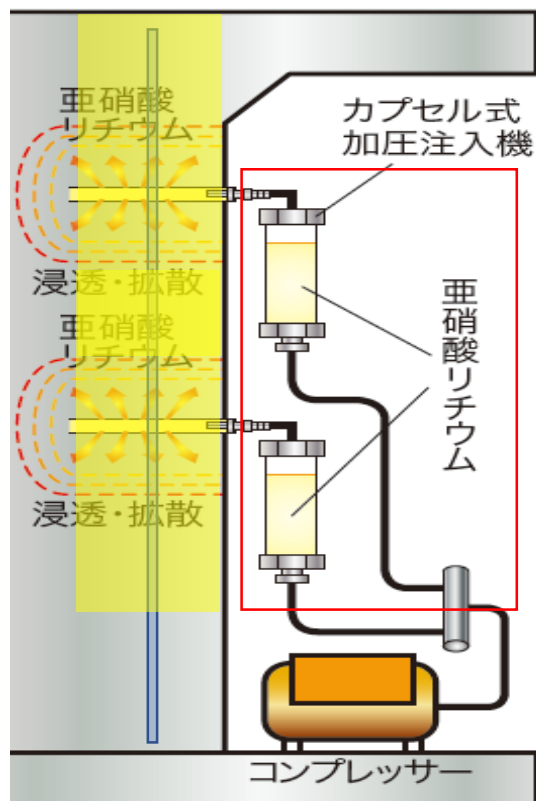
リハビリカプセル工法の積算

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

【リハビリカプセル工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量

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

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



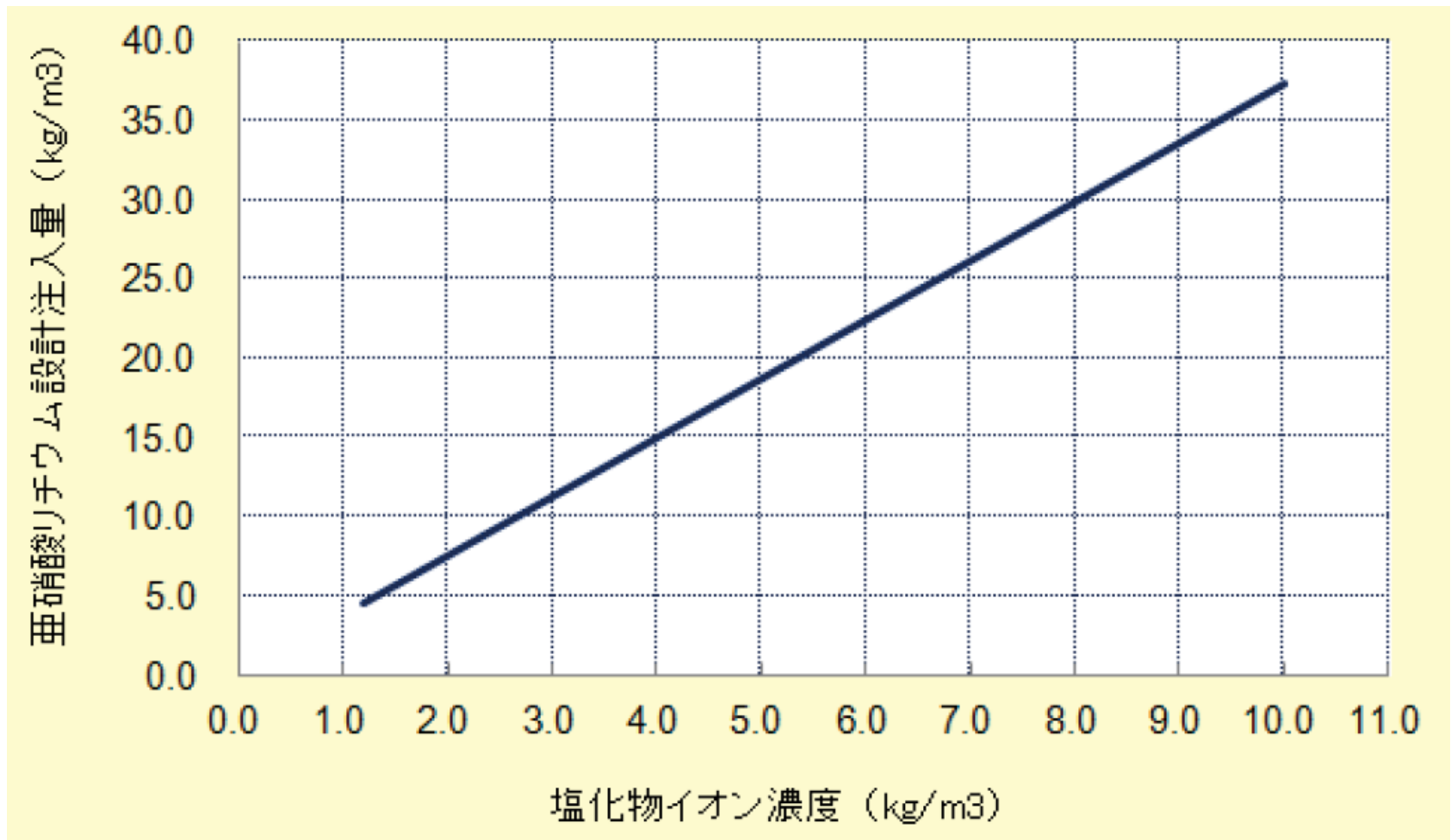
【設計上の仮定】

コンクリート表面から目標圧入深さまで亜硝酸イオンを均一濃度で分布させる

【圧入可能量】

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

【リハビリカプセル工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量



塩化物イオン濃度と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

2. 6 内部圧入工法(その2) 『ASRリチウム工法』



REHABILI
プロコン40
リハビリ工法

浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』を用いた塩害・中性化・ASR補修技術

油圧式高圧注入ASRリチウム工法

特 徴

根本的なASR抑制対策！
油圧式高圧注入『ASRリチウム工法』は、アルカリシリカ反応(ASR)によって劣化したコンクリート構造物を根本的に治療する補修技術です。コンクリート部材全体に浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液を内部圧入することにより、ASRの原因であるアルカリシリカゲルを劣悪化するため、以後のASR劣化の進行を根本的に抑制することができます。

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

施工仕様
圧入装置：油圧式圧入装置『リハビリ圧入機』
即 効 用：浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』
注 入 量：コンクリートのアルカリ総量(ASRの場合)や塩化物イオン量(塩害の場合)に応じて定量的に決定
注入圧力：0.5MPa～1.5MPaの範囲内でコンクリートの劣化程度に応じて構造毎に決定
圧 入 孔：削孔径はφ10mmまたはφ20mm(削孔深さに応じて決定)
削孔間隔は500mm～1,000mm(部材寸法や構造形態に応じて決定)
削孔深さは300mm～4,000mm

施工手順

1. 施工面を高圧洗浄またはディスクサンダー等により下地処理します。
2. ひび割れ注入および表面シールを行い、圧入時の『プロコン40』の漏れを防ぎます。
3. 鉄筋検査を行った後に圧入孔を削孔します。
4. リハビリ圧入機、耐圧ホース、加圧バックカーを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験圧注入を行い、圧入工の適合性を評価します。
6. 全圧入孔に対し一斉に本加圧注入を行い、『プロコン40』の設計量を内部圧入します。
7. 無取縮グラウト材により全圧入孔を充填します。
8. 表面を仕上げて施工完了です。

補修効果の検証

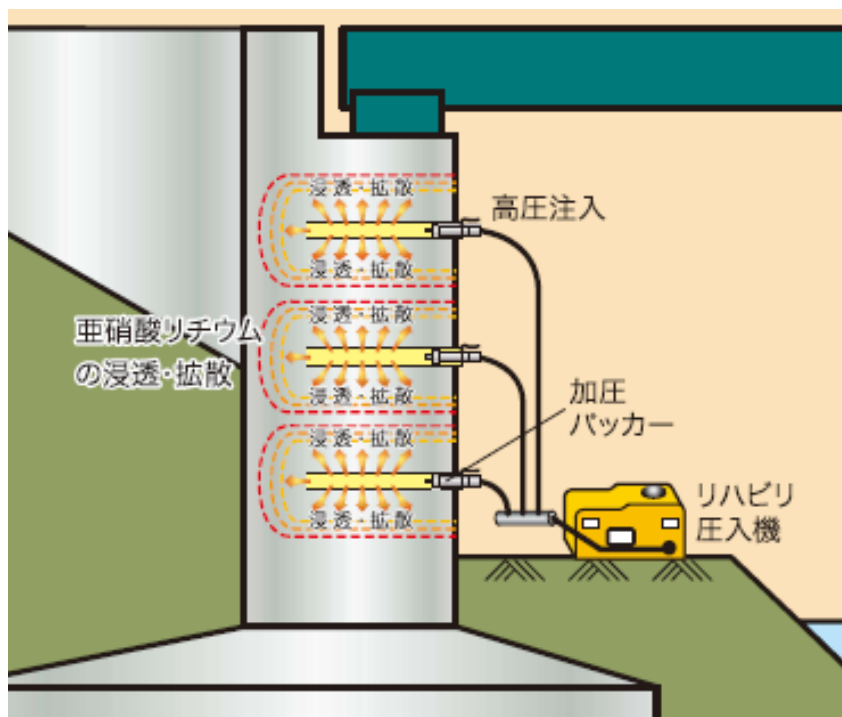
ASRリチウム工法によるASR補修を行う場合、本法による補修効果は施工前後の残存膨張量を比較することによって定量的に評価することができます。

ASRリチウム工法施工前後の残存膨張量試験結果(JCI-DD2法)の例

工法概念図

【ASRリチウム工法】 … 工法概要(ASRの補修の場合)

基本性能 『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』



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

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

リチウムイオンによるASR膨張抑制効果のみを目的とした工法

【ASRリチウム工法】 … 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リチウム工法のデメリット

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

ASRリチウム工法の適用範囲

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

ASRリチウム工法の積算

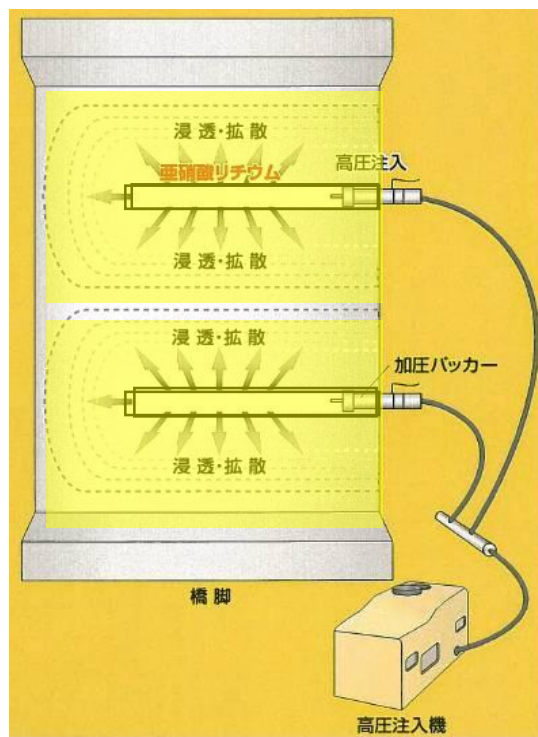
- ・ASRリチウム工法協会標準歩掛にて積算
- ・単位あたり施工費は規模、アルカリ総量、コンクリート強度等によって大きく変動

【ASRリチウム工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量

劣化機構 : ASR

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

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



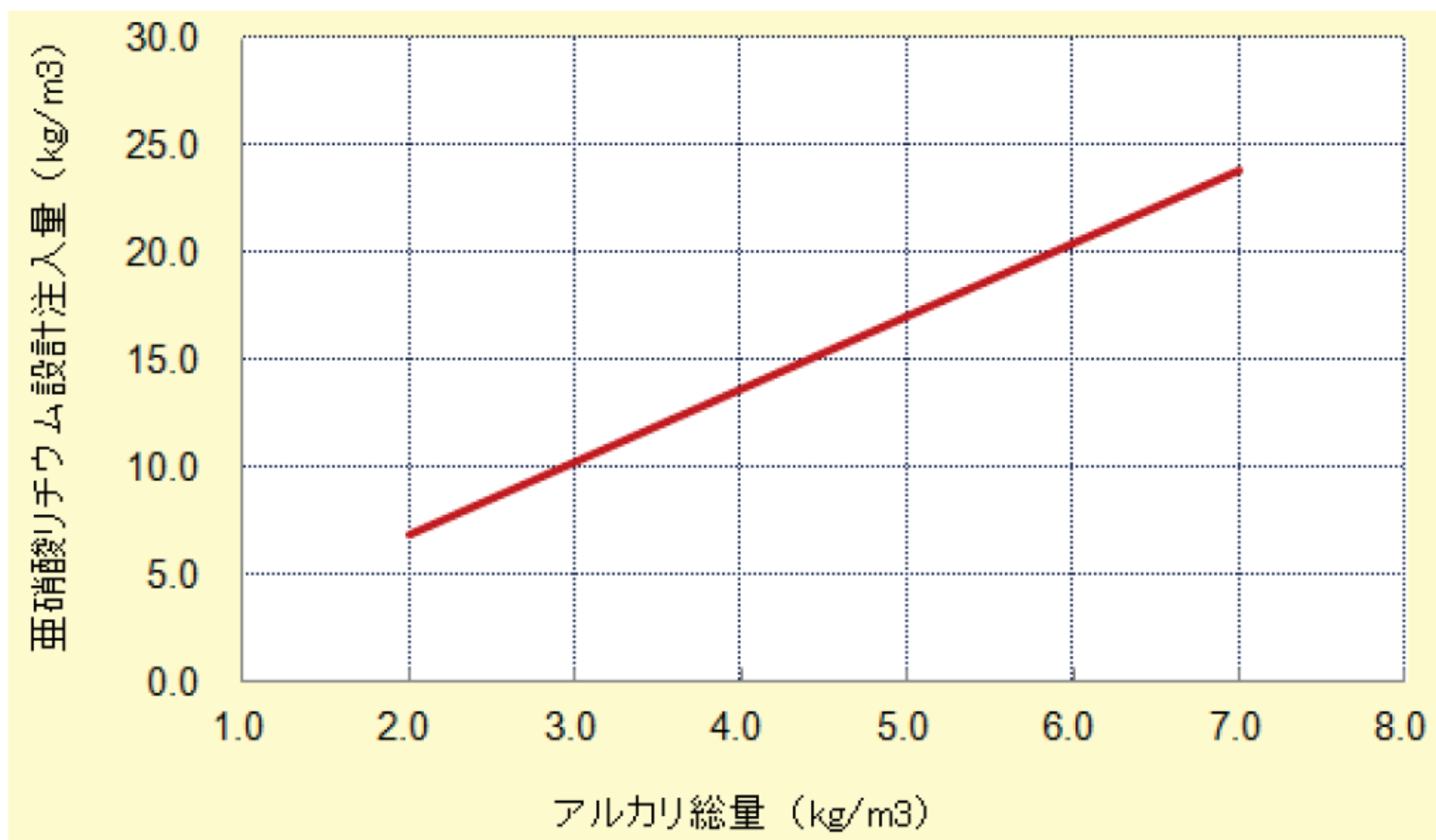
【設計上の仮定】

コンクリート部材全体にリチウムイオンを均一濃度で分布させる

【圧入可能量】

限界圧入量 : 37kg/m³程度
(アルカリ総量11kg/m³相当)

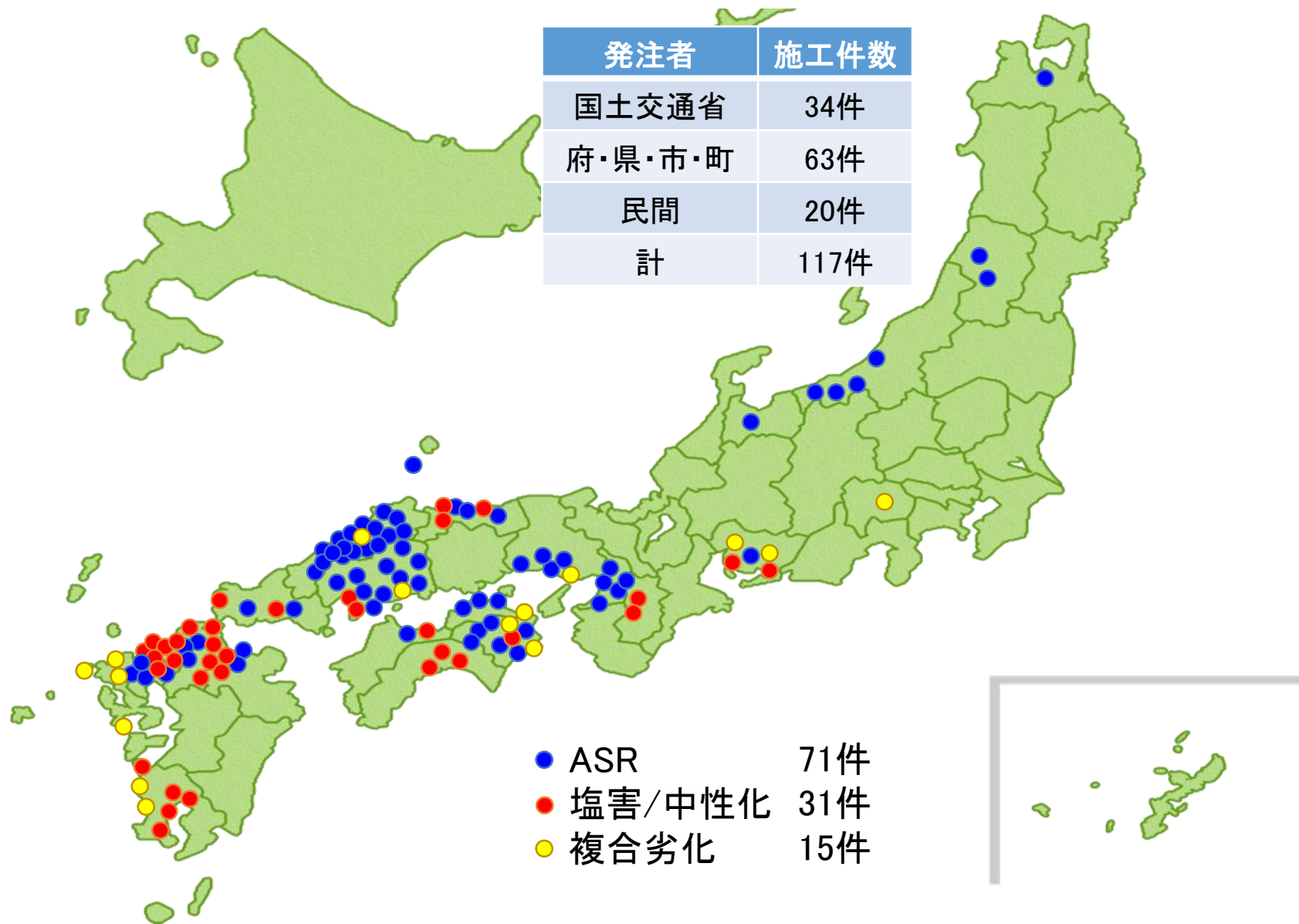
【ASRリチウム工法】 … 亜硝酸リチウム設計圧入量



アルカリ総量と亜硝酸リチウム設計圧入量との関係

【亜硝酸リチウム内部圧入工 施工実績】

亜硝酸リチウム内部圧入工法 施工実績図 (2019年5月現在)



3. 構造物の健康寿命を延ばすための 亜硝酸リチウムの活用事例

【塩害対策として①】 進展期の予防保全対策

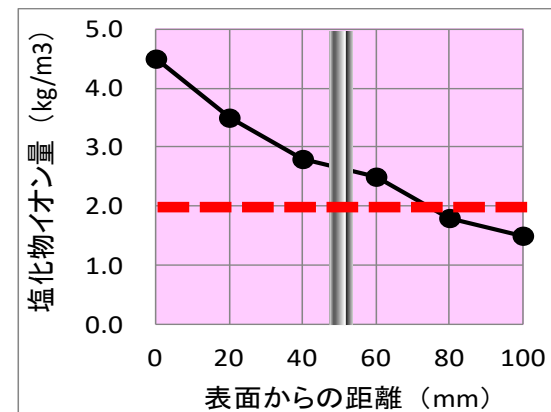
・外観変状は見られないが、既に鉄筋腐食進行の懸念

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



・表面含浸工の補修要求性能を「劣化因子の遮断」+「鉄筋腐食の抑制」とする

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



下地処理工

『プロコンガードプライマー』
塗布

(亜硝酸リチウム系表面
含浸材)

プロコンガードS塗布

(シラン・シロキサン系表面含浸材)

吸水防止層
によって
劣化因子を遮断



亜硝酸リチウム
の浸透

塩害・
中性化対策

亜硝酸イオンによって
鉄筋不動態被膜を再生

ASR 対策

リチウムイオンによって
ASRゲルを非膨張化

【塩害対策として②】 構造物全体を考慮した総合的な事後保全

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



- ・断面修復部にも、それ以外にも亜硝酸リチウムを供給して、構造物全体の鉄筋腐食進行を根本的に抑制する
⇒ 浮き、剝離箇所：『リハビリ断面修復工法』
それ以外の全体：『リハビリカプセル工法』



【施工例】 H30年
国土交通省
四国地方整備局
「本谷橋」

【塩害対策として③】 床版上縁側の鉄筋腐食も確実に抑制

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



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



これまで困難だった床版上縁側鉄筋の防錆を交通規制なしで実現した事例



【施工例】 H26年
鳥取県中部総合事務所「一の宮橋」

【塩害対策として④】 橋脚耐震補強の前に既設鉄筋の腐食を確実に抑制

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

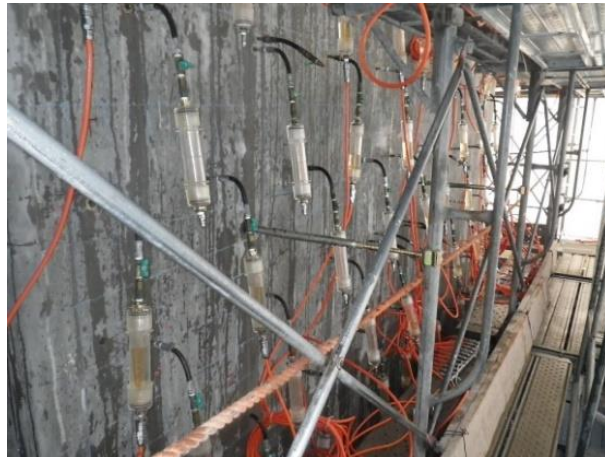


- ・まず橋脚柱部の鉄筋腐食を抑制した後にRC巻立てを施工する
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『リハビリカプセル工法』を適用
 - ⇒ 削孔深さの設定により亜硝酸リチウムの浸透範囲を調整することができるため、2段配筋となっている主鉄筋でも防錆可能



設計思想どおりの耐震性能を保障するための既設鉄筋腐食抑制を図った事例

【施工例】
H27年
国土交通省九州地方整備局
「小浜橋」



4. 亜硝酸リチウムを用いた 補修工法の選定の考え方

【塩害】・・・劣化過程

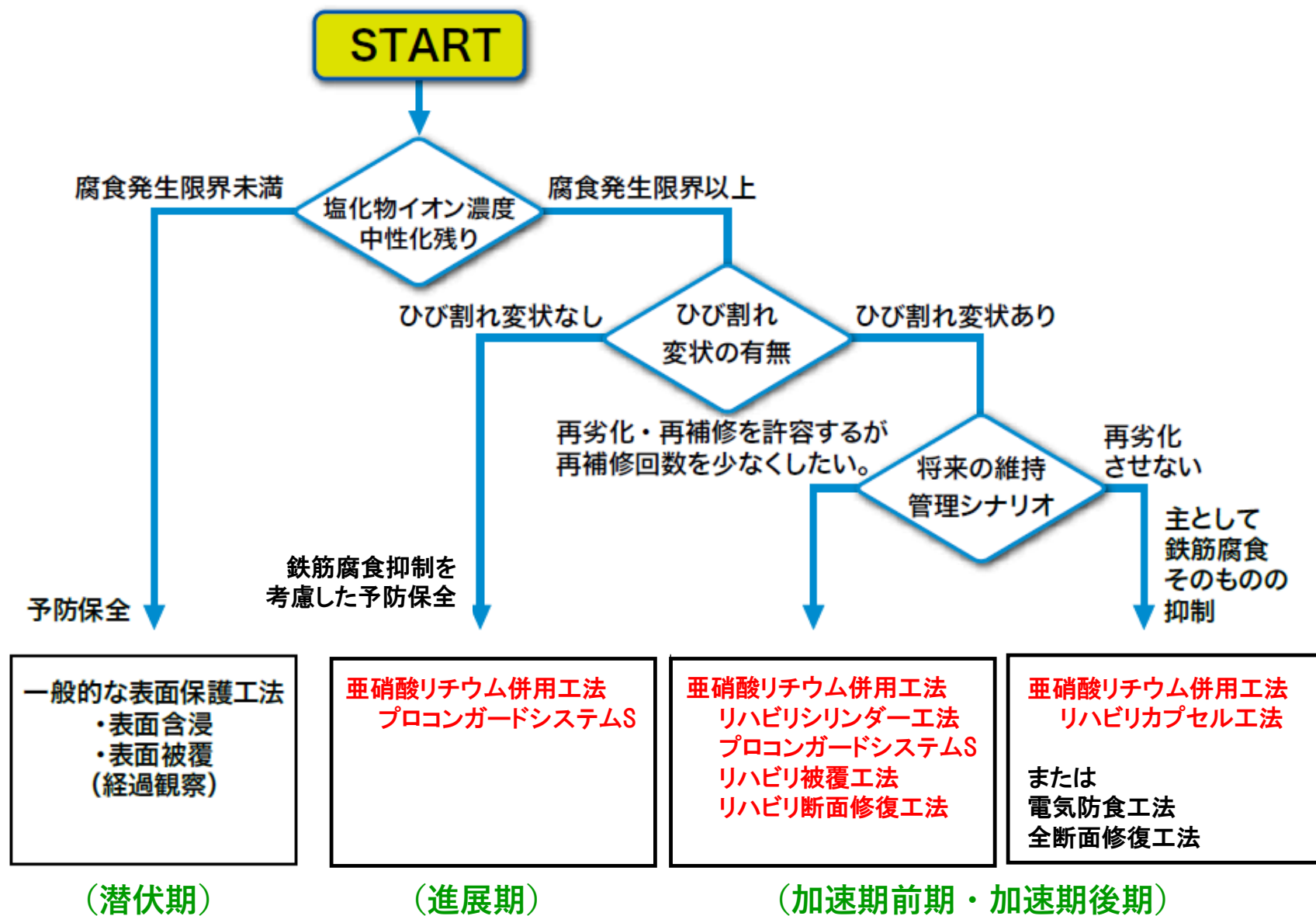
外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度 以下
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない，鋼材腐食発生塩化物イオン濃度 以上 ， 腐食が開始
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れや浮きが発生 ，さび汁が見られる
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生，腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的な剥離・剥落が見られる， 鋼材の著しい断面減少は見られない
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模な剥離・剥落が見られる，鋼材の著しい断面減少がみられる，変位・たわみが大きい

出典：2018年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）

[塩害の劣化指標]

- ・塩化物イオン濃度
- ・鋼材腐食量
- ・腐食ひび割れ

【塩害・中性化で劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



おわりに

【亜硝酸リチウム補修工法の選定方法】

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



『これら全てを駆使して構造物の健康寿命を延ばす』

ご清聴ありがとうございました

END