

コンクリート構造物の劣化と補修技術

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

本日の主な内容

1. はじめに
2. 塩害・中性化補修の基本的な考え方
 - 塩害の劣化メカニズム
 - 塩害の補修工法選定
潜伏期・進展期・加速期
3. ASR補修の基本的な考え方
 - ASRの劣化メカニズム
 - ASRの補修工法選定
加速期
4. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術
5. 劣化機構に応じた補修工法の選定の考え方

1. はじめに

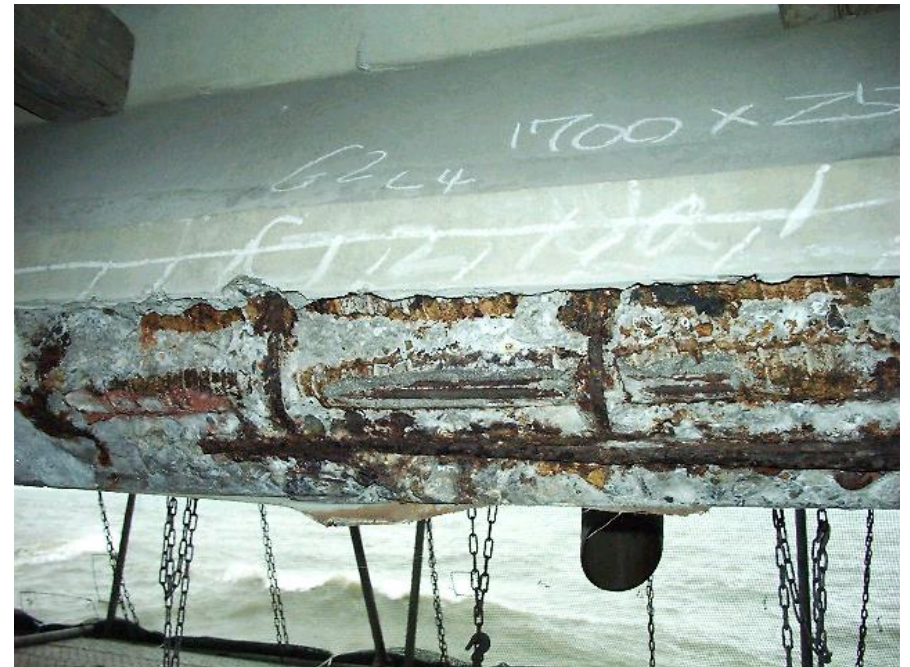
【急増するコンクリート構造物の劣化】

- ・高度経済成長期に大量に建設された社会資本ストックが、まもなく50年を迎える
- ・その当時は、塩害やASRに対する知見が十分でなかった



個々の状況に応じて最適な補修技術・補修材料を選定することが重要

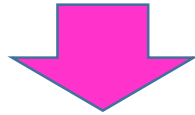
2. 塩害・中性化補修の基本的な考え方



【塩害】…劣化メカニズム

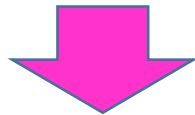
原因

- ・種々の原因で塩化物イオンがコンクリート中に浸入
- ・浸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

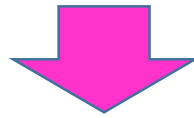
【塩害】 … 劣化事例



【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 (pH=12以上) に浸入
- ・コンクリート中の水酸化カルシウムが二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを生成
- ・その結果, コンクリート中のpHが低下 (pH=11以下) する



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する
- ・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, 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】 … 劣化事例



壁高欄のコンクリートはく落

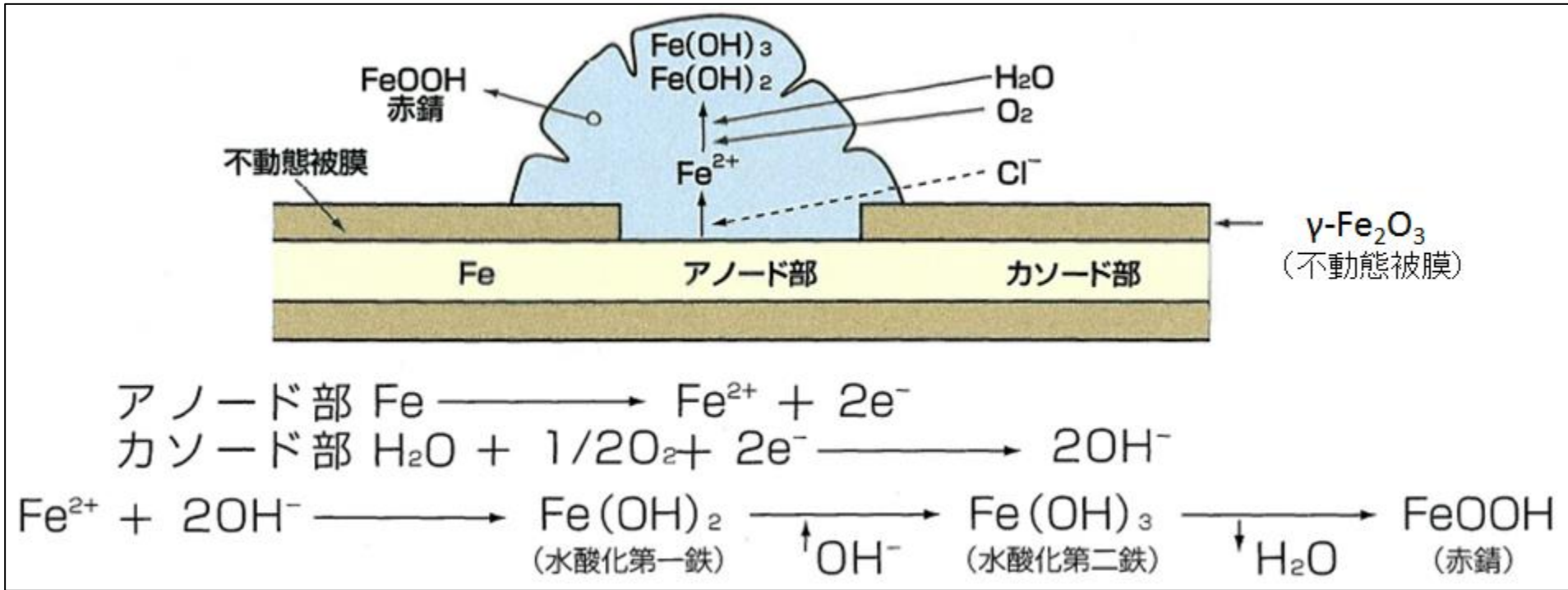
- ・道路橋壁高欄
- ・自動車の排気ガスによるCO₂供給
- ・はく離箇所以外の鉄筋も腐食



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

【塩害・中性化】 … 鉄筋腐食の模式図



- 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種類の反応が同時に起こるのが鉄筋腐食反応

【塩害】…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？

【中性化】・・・劣化過程

表 2-2 中性化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	外観上の変化が見られない, 中性化残りが発錆限界以上.
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない, 中性化残りが発錆限界未満, 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.
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの進展とともにはく離・はく落が見られる, 鋼材の断面欠損は生じていない.
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れとともにはく離・はく落が見られる, 鋼材の断面欠損が生じている.

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？

【塩害・中性化】 … 一般的な補修工法と要求性能

①劣化因子の遮断（塩化物イオン，二酸化炭素，水，酸素の侵入を低減）

【表面含浸工法】

【表面被覆工法】

【ひび割れ注入工法】

②劣化因子の除去

【脱塩工法】（コンクリート中に浸入した塩化物イオンを除去；塩害）

【再アルカリ化】（中性化したコンクリートのアルカリ性を回復；中性化）

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】

【鉄筋防錆材（亜硝酸リチウム）の活用】

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】

【塩害・中性化補修の基本的な考え方】 … 1. 潜伏期

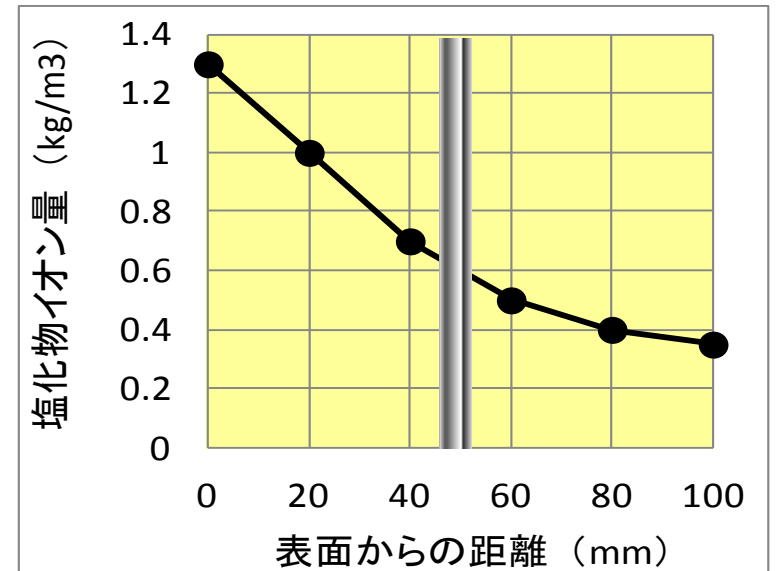
【劣化の状態】

- ・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（塩害の場合）
- ・中性化残りが発錆限界以上（中性化の場合）
⇒ まだ鉄筋腐食環境には陥っていない



【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（塩害の場合）
- ・二酸化炭素を侵入させない（中性化の場合）
⇒ 鉄筋の腐食環境をつくらない



※この段階で何らかの対策を実施するのが最も上流の予防保全

【補修工法の選定】

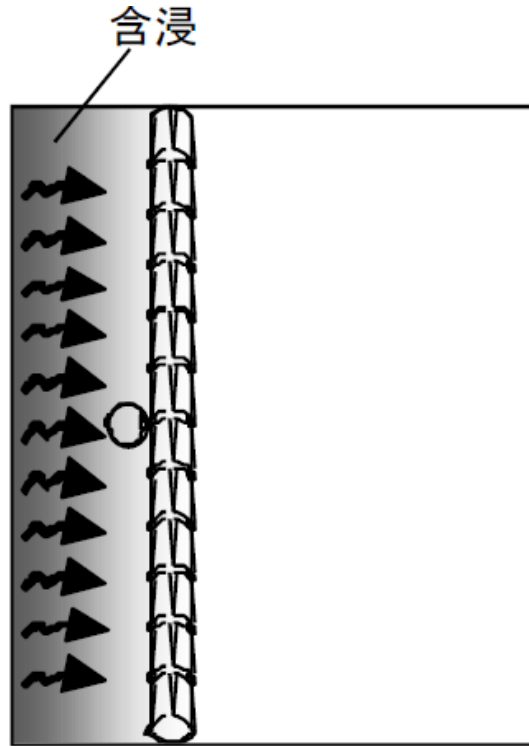
表面保護工を定期的に行う

- ・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させない



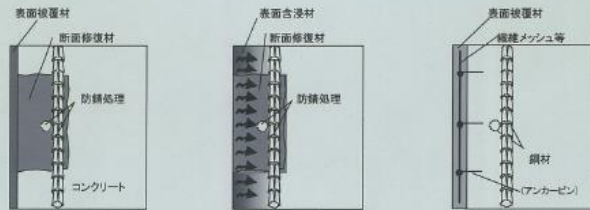
- ・最も軽微な補修工法「**表面含浸工法**」が適する

【参考：表面含浸工法】



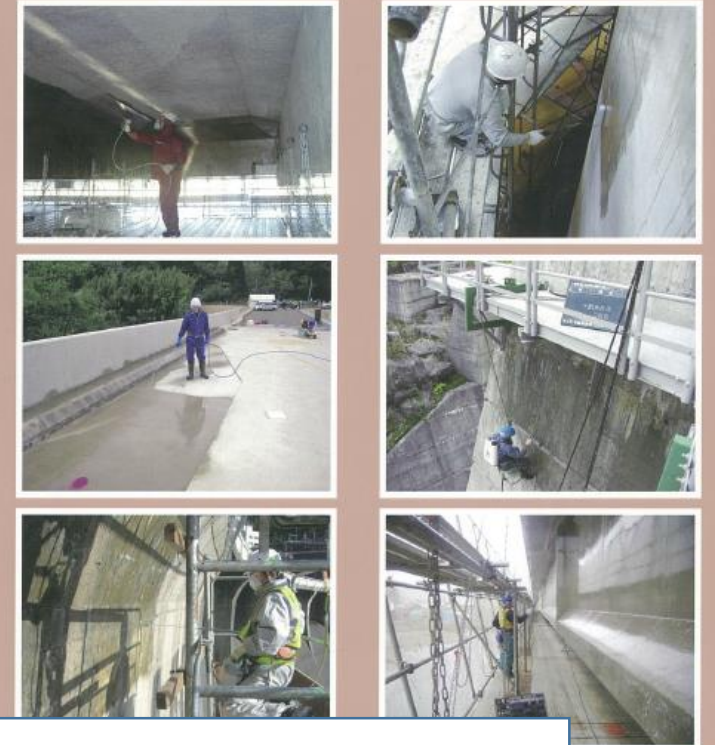
119 コンクリートライブラリー

表面保護工法 設計施工指針（案）



137 コンクリートライブラリー

けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）



けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案） P.27より抜粋

『本指針（案）では、けい酸塩系表面含浸工法が単独で適用できる範囲を、劣化過程が**潜伏期**までにある構造物を原則とした。』

【塩害・中性化補修の基本的な考え方】 … 2. 進展期

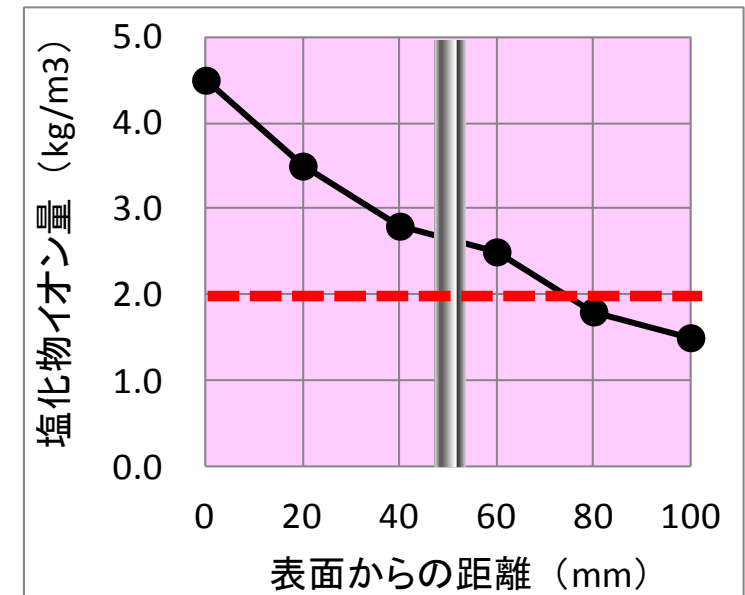
【劣化の状態】

- ・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(塩害の場合)
- ・中性化残りが発錆限界未満(中性化の場合)
⇒ 不動態皮膜の破壊、鉄筋腐食が開始



【補修工法の主たる要求性能】

- ・塩化物イオン、二酸化炭素、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



※まだ変状が生じる前なので予防保全の範疇

【補修工法の選定】

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進行を遅らせる
- ・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材料、工法を選択するのも効果的



- ・適用工法は表面含浸工法
- ・ただし鉄筋腐食抑制効果のある工法を選定

【参考：付加価値のある表面含浸工法の例】

種別	特長	備考
鉄筋腐食抑制タイプ 含浸系表面保護材	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面に塗布するだけで深く浸透し、塩化物イオンの侵入を阻止する吸水防止層を形成。 ・さらに、鉄筋のまわりに不動態皮膜にかわる保護層を形成し腐食を抑制。 	劣化因子遮断 ＋ 鉄筋腐食抑制
亜硝酸リチウム併用型 表面含浸材	<ul style="list-style-type: none"> ・1層目の亜硝酸リチウム系含浸材により鉄筋不動態皮膜を再生して鉄筋腐食を抑制。 ・2層目のけい酸塩系含浸材が表面で乾燥固化し、劣化因子を遮断。 ・塩化物イオン濃度に応じて亜硝酸リチウム塗布量を設定。 	劣化因子遮断 ＋ 鉄筋腐食抑制

【塩害・中性化補修の基本的な考え方】 … 3. 加速期前期

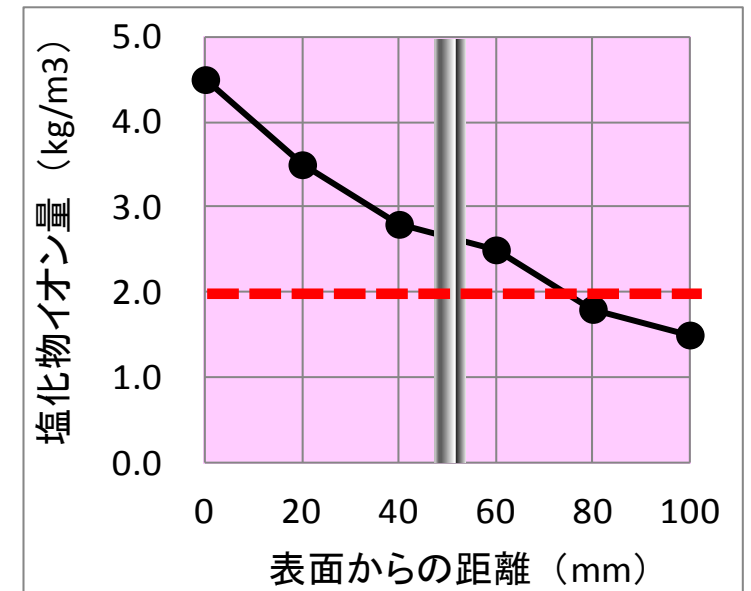
【劣化の状態】

- ・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



【補修工法の主たる要求性能】

- ・塩化物イオン、二酸化炭素、水、酸素をこれ以上侵入させない
 - ・鉄筋腐食の進行を抑制する
- ⇒ これ以上の変状の増大を防ぐ



※ 既にひび割れ等が発生しているため、ここからは事後保全

【維持管理シナリオに応じた補修工法】

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
- ・ただし、これらの対策では再劣化する可能性がある
 - ⇒ 補修のイニシャルコストを最小とし、必要に応じて再補修を繰り返す
 - 各工法に鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ材料を選択するのも効果的

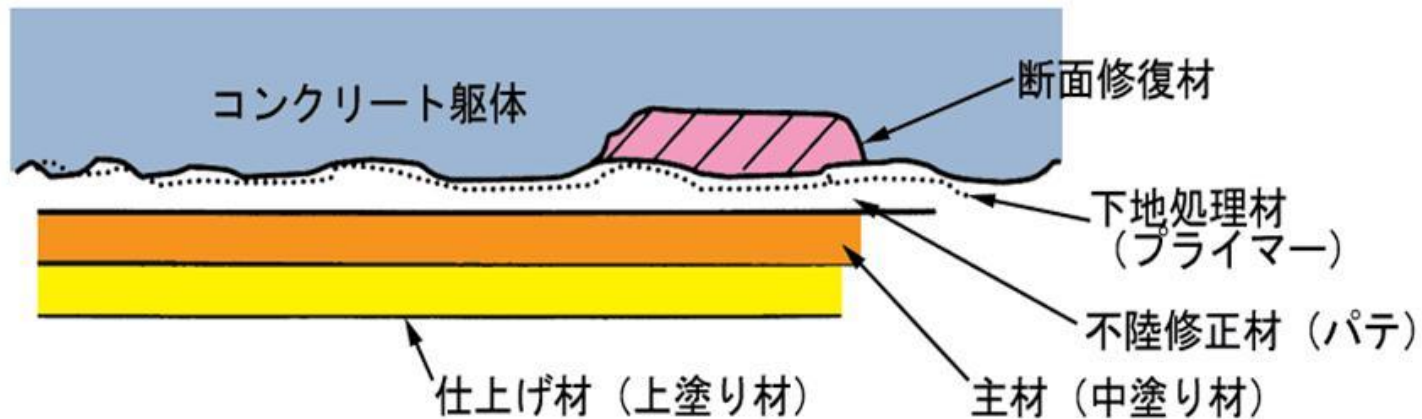


- ・外観変状がまだ軽微な段階では本シナリオがLCCでも有利となることが多い

【参考：表面被覆工法】



- ・コンクリート表面を有機系，無機系などの材料にて被覆することにより，コンクリート表面からの劣化因子の侵入を防ぐ
- ・仕様，グレードなど，被覆材の種類が豊富
- ・ハケ，コテ，ローラーにより塗布する



【参考：ひび割れ注入工法】



- ・ひび割れを閉塞することにより、ひび割れを通じた劣化因子の侵入を遮断する
- ・セメント系，ポリマーセメント系，樹脂系などの種類がある
- ・適用可能なひび割れ幅
0.2mm～10.0mm程度

※ひび割れ注入工とひび割れ充填工

- ・ひび割れ幅が大きいものには経済性の理由によりひび割れ充填工法（Uカット）を適用する場合もある
- ・しかし、鉄筋腐食抑制の観点からはひび割れ充填工法よりもひび割れ注入工法の方が抑制効果が高いと考えられる
- ・劣化要因に応じた工法選定を行うことが重要

【参考：断面修復工法（部分断面修復）】



- ・鉄筋腐食によるコンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出が発生
- ・それらの変状箇所を部分的にはつり取り、断面修復材にて埋め戻す
- ・はつりとした範囲からは塩化物イオンが除去されている（限定的）
- ・境界面付近にマクロセル腐食を生じる可能性もある

※部分断面修復と全断面修復

- ・浮き、はく離、鉄筋露出など、コンクリート脆弱部のみを抽出して、最小限の範囲のみはつりとり、断面を修復する工法を部分断面修復と称す。
- ・浮きやはく離の有無に関わらず、全断面をはつりとして全断面を修復する工法を全断面修復と称す。

【塩害・中性化補修の基本的な考え方】 … 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

【補修工法の主たる要求性能】

- ・鉄筋腐食の進行を根本的に抑制する
⇒ 鉄筋腐食を抑制し、確実に構造物の性能低下を防ぐ



※ 典型的な事後保全

【維持管理シナリオに応じた補修工法】

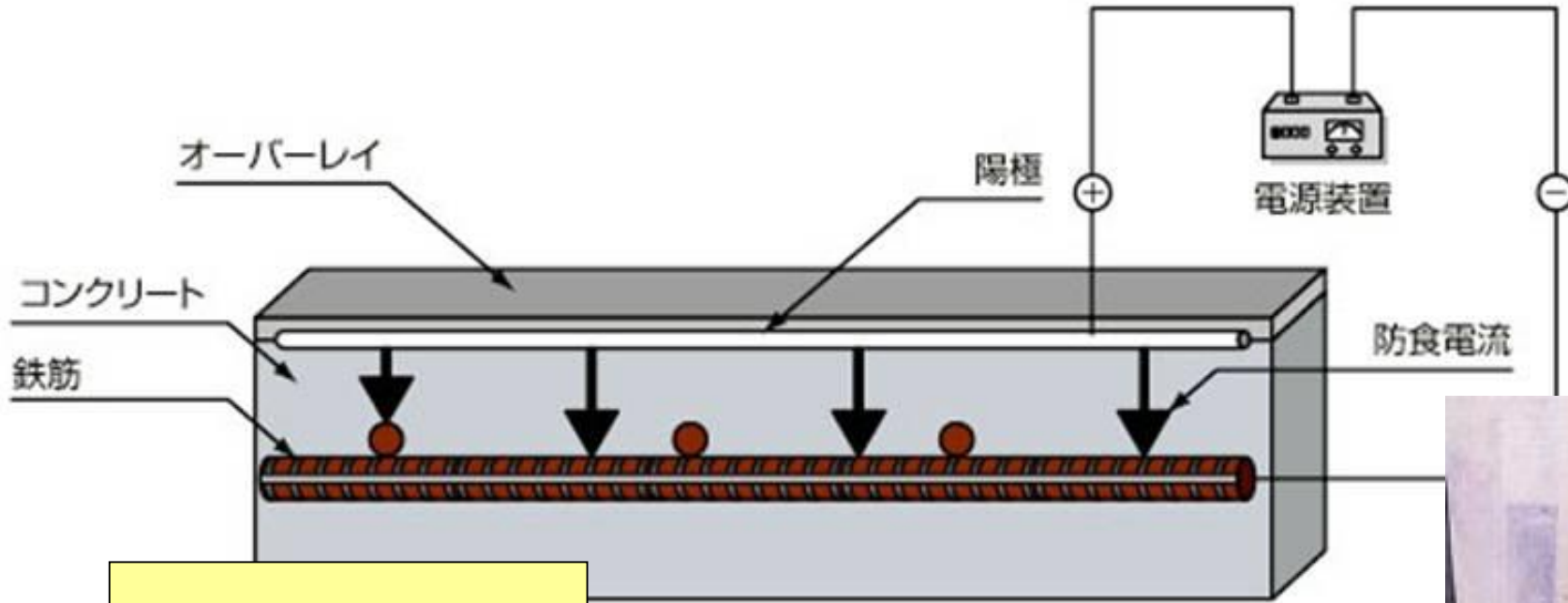
(1) ひび割れ注入、表面保護、部分断面修復など最小限の補修を定期的に行う

- ・劣化因子を遮断して劣化の進行速度を遅らせる
- ・これらの対策では早期に再劣化することを覚悟
- ・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

(2) 鉄筋腐食を根本的に抑制し、将来的な再劣化を許容しない

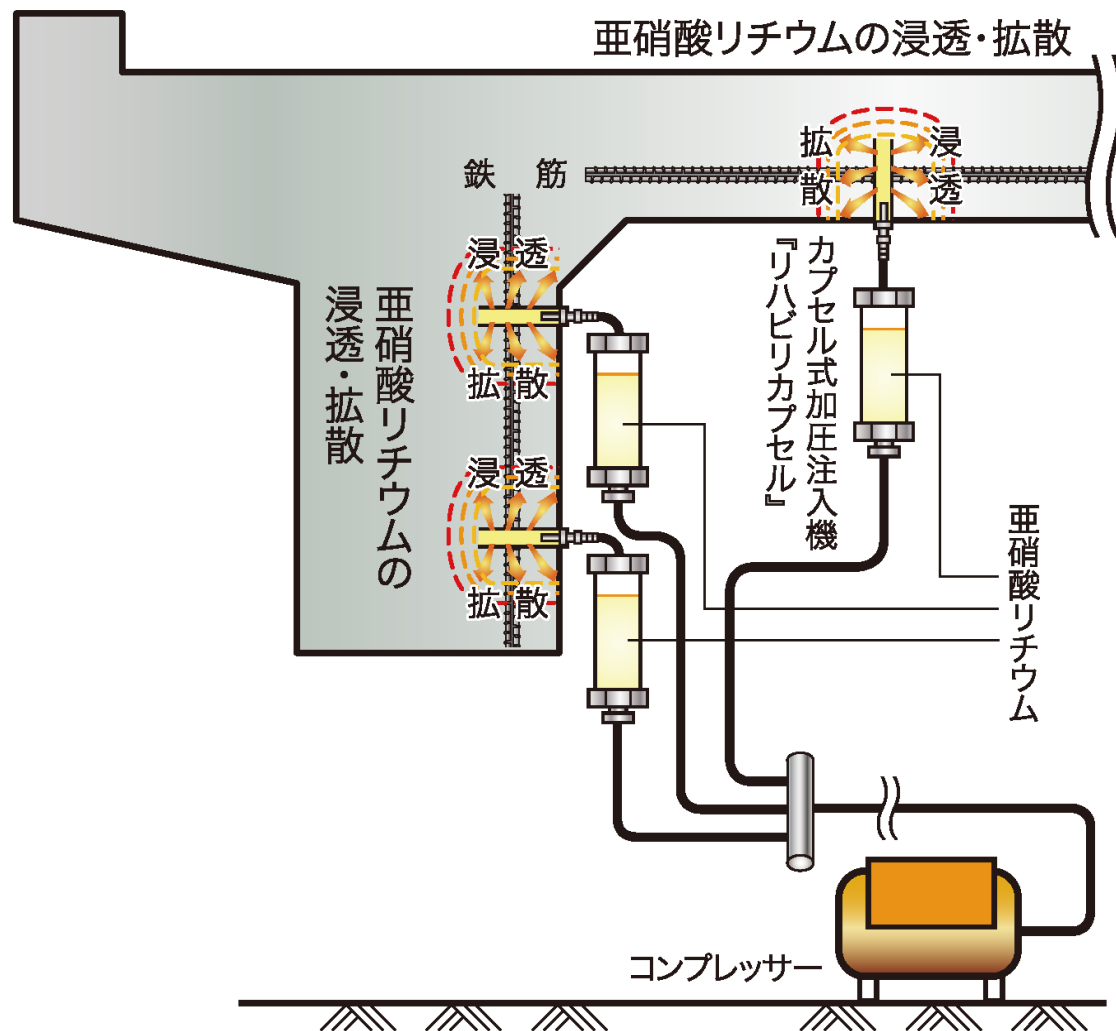
- ・電気防食工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・亜硝酸リチウム内部圧入工法（鉄筋腐食を根本的に抑制）
- ・全断面修復（塩化物イオンを含むコンクリートを完全に除去）
 - ⇒ これらの工法を適用すれば、再劣化のリスクを限りなく低減できる
 - イニシャルコストでは高価となるがLCCでは優れる場合が多い

【参考：電気防食工法】



- ・コンクリート表面に陽極材を設置する
- ・コンクリート中の鋼材を陰極として直流電流(防食電流)を流す
- ・この防食電流が流れている期間は鋼材の腐食が進行しない

【参考：亜硝酸リチウム内部圧入工法】



- 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

3. ASR補修の基本的な考え方



【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化メカニズム

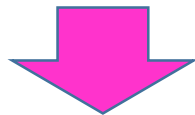
原因

- ・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

	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	$n\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>(シリカ鉱物) (アルカリ) (アルカリシリカゲル)</p>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ <p>(アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張！)</p>

【アルカリシリカ反応(ASR)】 … 劣化事例



【アルカリシリカ反応(ASR)】 … 凍害との複合劣化



大鰐跨線橋(青森県)のASR劣化事例

【アルカリシリカ反応(ASR)】・・・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？

【アルカリシリカ反応(ASR)】 … 一般的な補修工法と要求性能

①劣化因子の遮断（外部からの水分の浸入を低減）

【表面被覆工法】

【表面含浸工法】

【ひび割れ注入工法】

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）

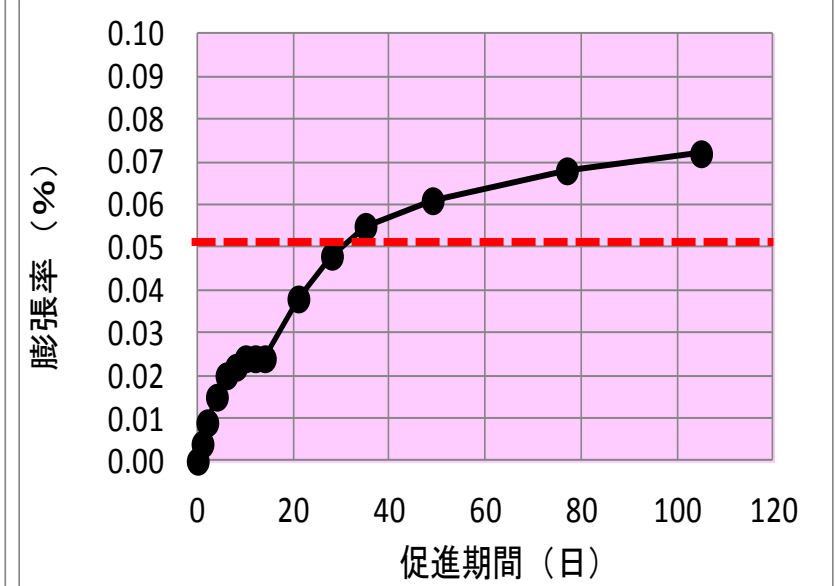
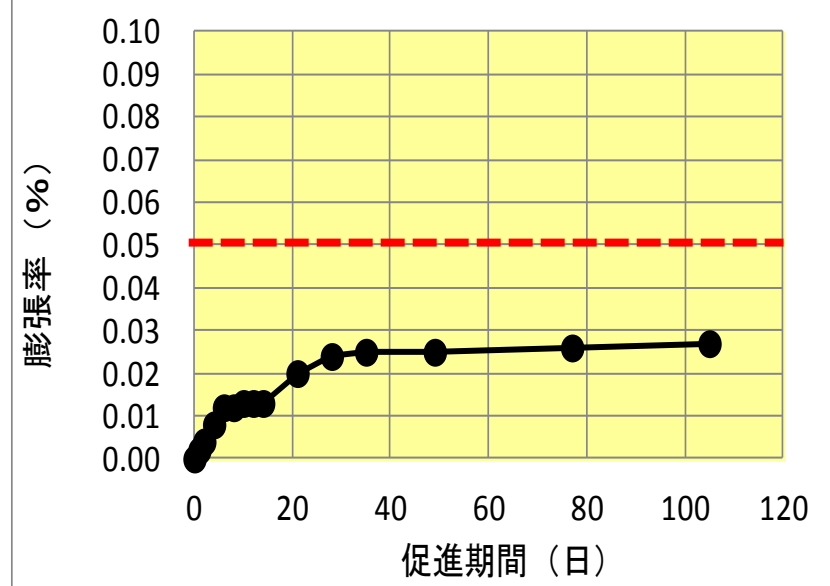
【ASR抑制剤(亜硝酸リチウム)の活用】

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】

※構造形式、対象部位によっては適用できる場合がある

【ASR補修の基本的な考え方】 … 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

【補修工法の主たる要求性能】

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補修の基本的な考え方】 … 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）】

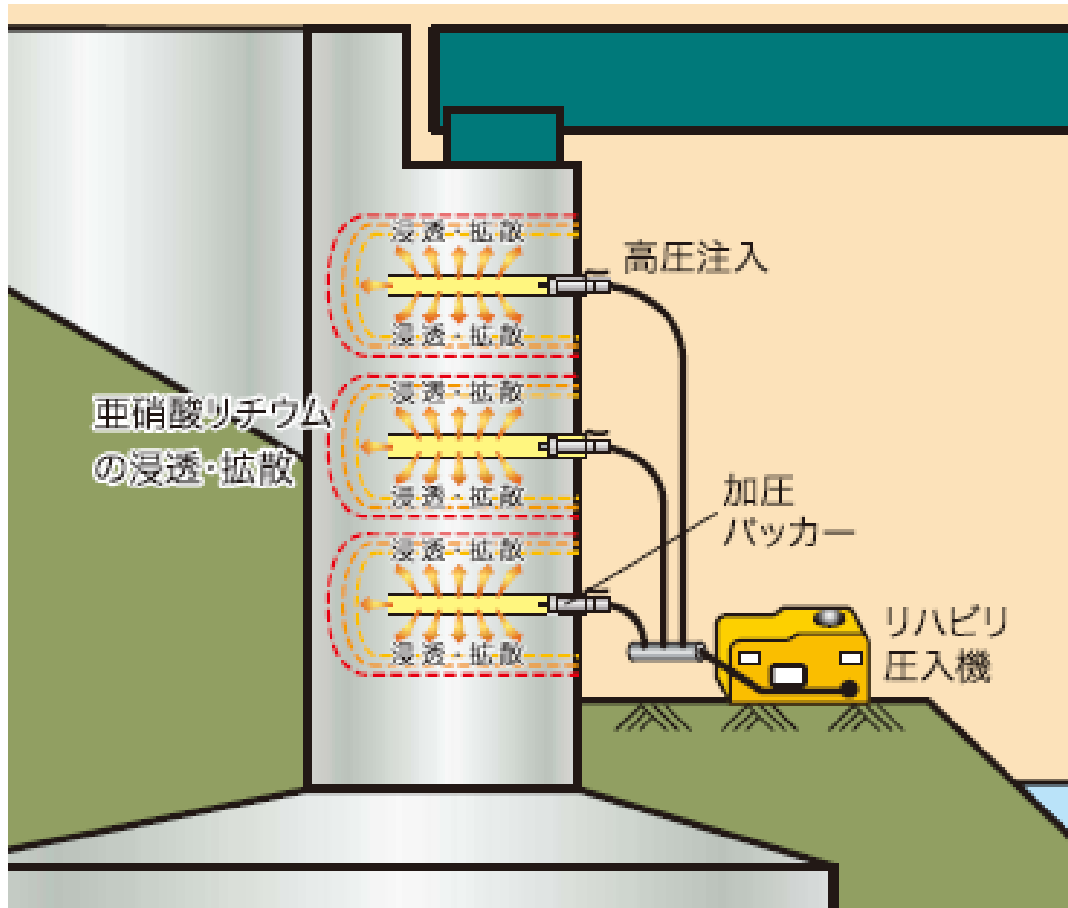
(1) ひび割れ注入工、表面保護工など最小限の補修を定期的に行う

- ・ASR膨張性が顕著であるため、これらの対策では早期に再劣化する可能性を考慮
- ・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

(2) ASR膨張を根本的に抑制することで、将来的な再劣化を許容しない

- ・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）
 - ⇒ 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

【参考：亜硝酸リチウム内部圧入工法】



- ①コンクリートにΦ20mm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

4. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

【亜硝酸リチウム】

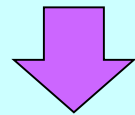
- ・リチウム系化合物のコンクリート補修材料
- ・原材料は「ナフサ」, 「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40% (限界濃度)

Lithium Nitrite ; LiNO_2



亜硝酸イオン
 NO_2^-

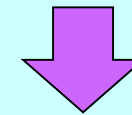
不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する



『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

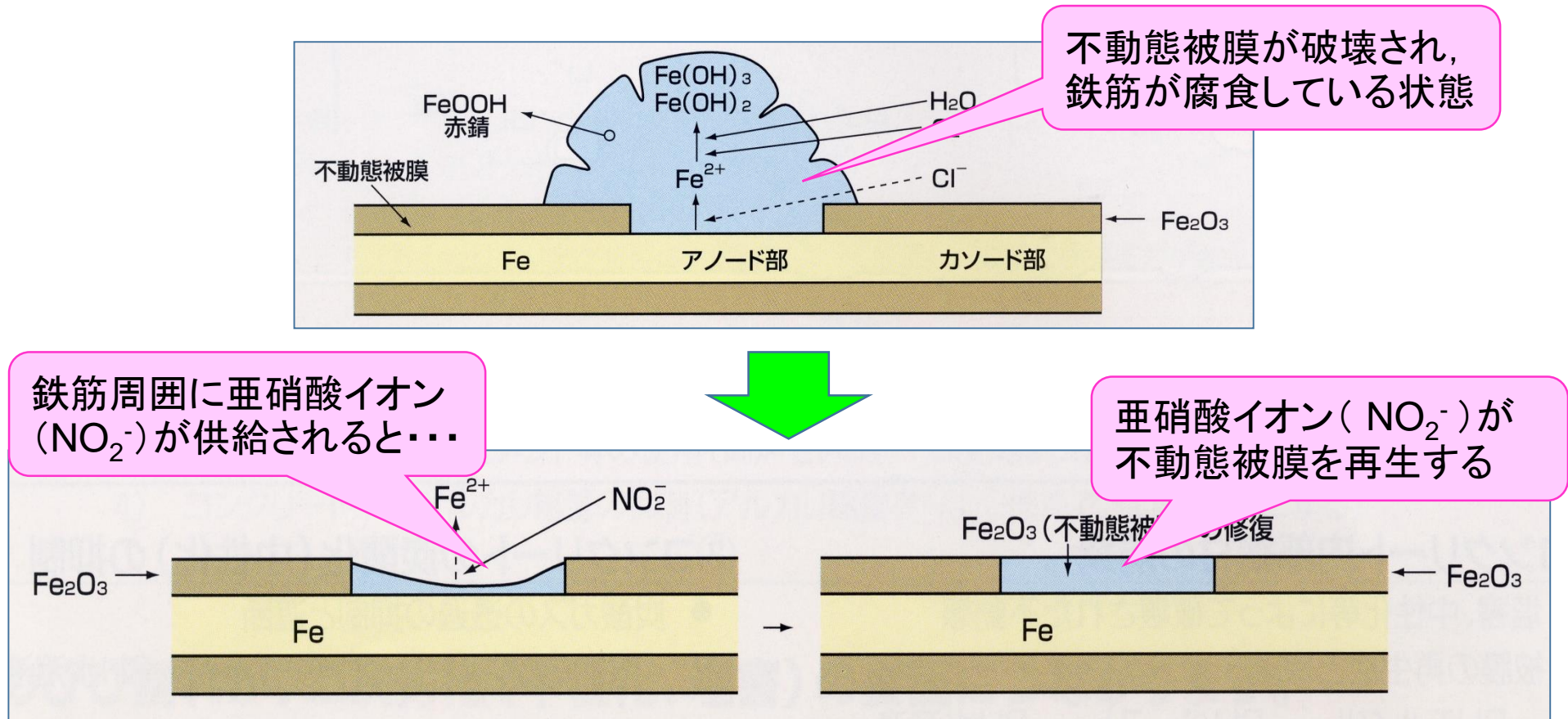
アルカリシリカゲルを
非膨張化する



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

リチウムイオン(Li⁺)によるアルカリシリカゲルの非膨張化

ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』



NETIS:CG-110017-VR

REHABILITATION
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

1. 座金取り付け
2. ひび割れシール
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・シール材撤去

リハビリシリンダー設置状況

座金設置状況

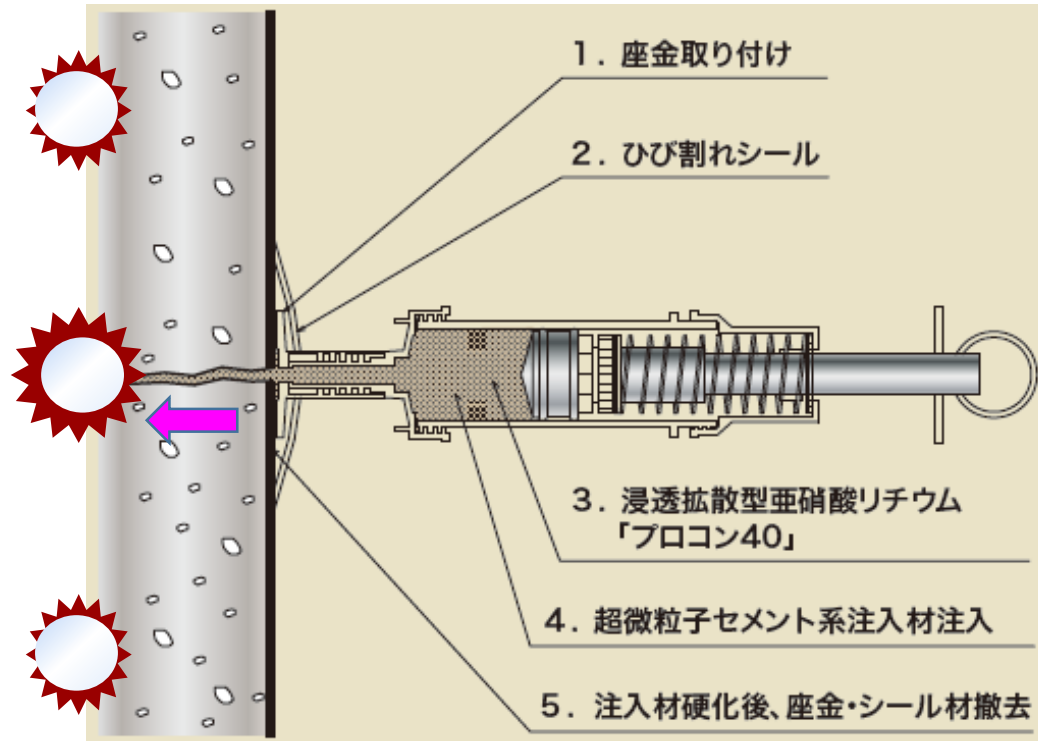
プロコン40先行注入の状況

超微粒子セメント系注入材本注入の状況

2017年
登録

【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

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劣化させ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。白化現象をおこさない組合せとして以下のHP仕様もございます。
1層目:プロコンガードプライマー(亜硝酸リチウム系表面含浸材)
2層目:プロコンガードHP(高分子系浸透性表面保護材)
※例えば、断面修復材の表面やPC部材など、密実度の高い部位に適用する場合、また亜硝酸リチウム内部圧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
サンダーレン及び高圧水洗い等でコンクリート表面の劣化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。必要に応じて湿潤発生を促す。
- ③『プロコンガード』の塗布
刷毛およびローラー等で規定量(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』は規定量を必ず塗布して下さい。
- 『プロコンガードプライマー』塗布後、乾燥状態を確保して下さい。(水分率8%以下)
- 『プロコンガード』を塗布して下さい。(個体の状態に応じて希釈して使用して下さい)
- 0℃以上で施工して下さい。

グラフ1: 水透過率 (日)

経過時間 (h)	プロコンガード	普通コンクリート
0	0	0
5	~5	~15
10	~10	~20
20	~15	~25

グラフ2: 中性化に対する抵抗性試験 JIS A 1152

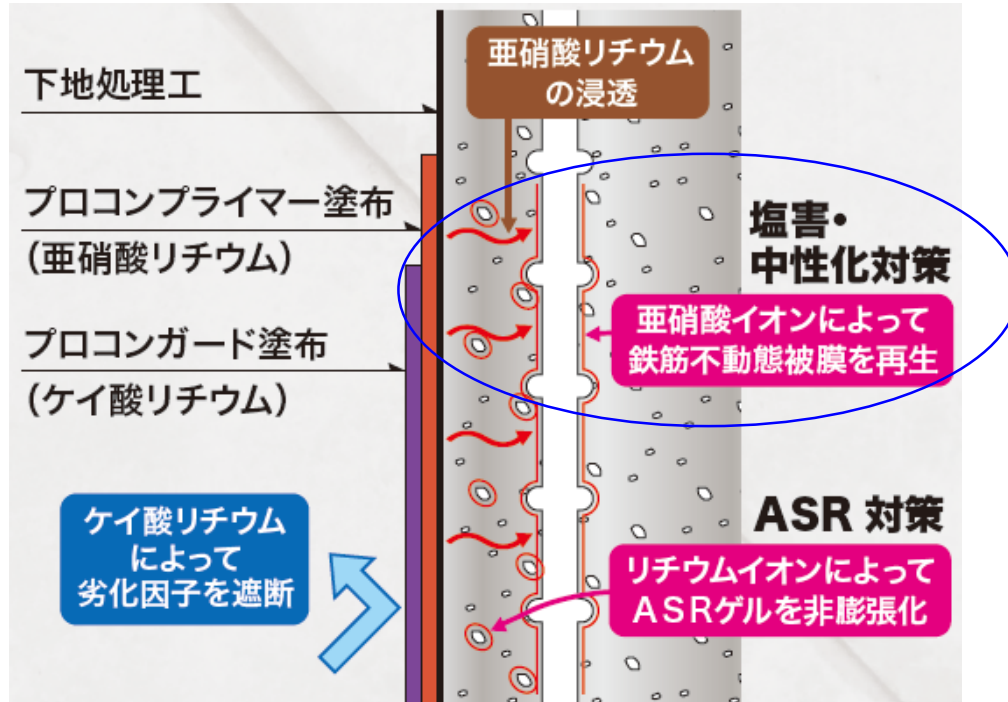
中性化浸透距離 (mm)	プロコンガード	普通コンクリート
0	0	0
5	~2	~5
10	~4	~8
15	~6	~12
20	~8	~15

※グラフは実験結果であり、基準値ではありません。

施工概念図

【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

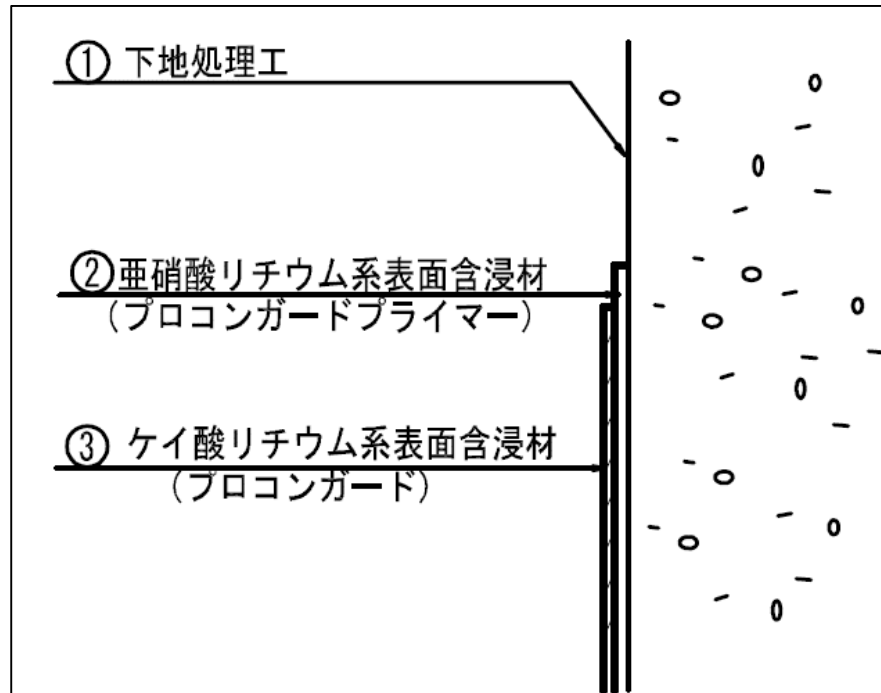
予告：亜硝酸リチウムとシラン系含浸材を組み合わせた新しいプロコンガードシステム

【亜硝酸リチウム＋シラン系のプロコンガードシステムS】

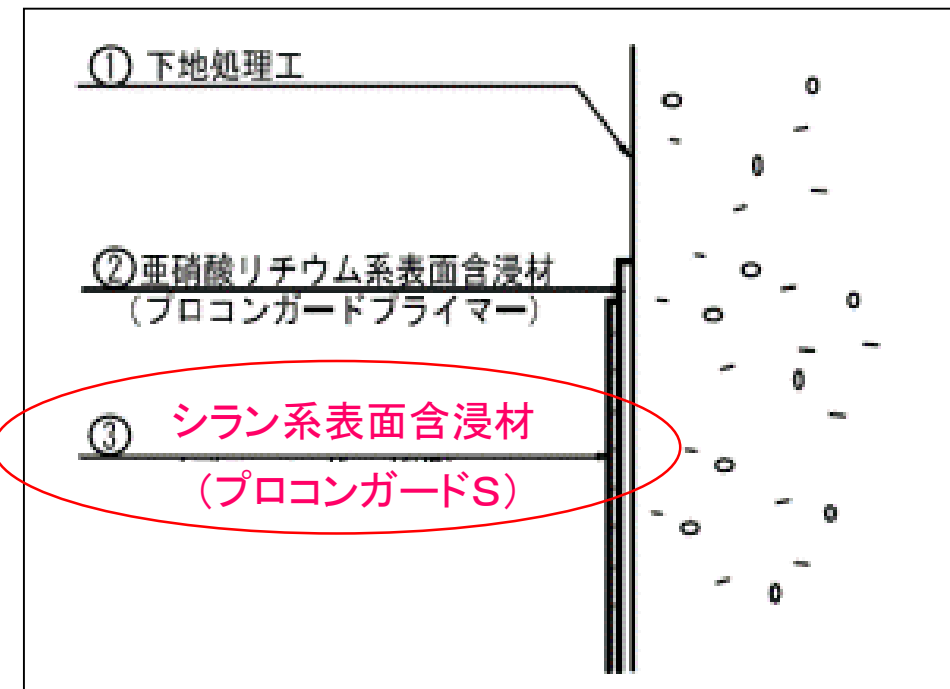
- これまで困難とされていた亜硝酸リチウムとシラン系材料との組み合わせ
⇒ 亜硝酸リチウムの保水性とシラン系材料の撥水性が反発



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



標準仕様のプロコンガードシステム



シラン系のプロコンガードシステムS

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炭酸化するため、以後のASR劣化の進行を根本的に抑制することができます。

効果的な鉄筋防錆対策!

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

簡易な圧入装置にて合理的に補修対策!

簡易型圧入装置『リハビリカプセル』は、大規模施工用の油圧式圧入装置『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軒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: カプセル式加圧注入機『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: 制孔径はφ10mm
制孔間隔は500mmを標準とする
(部材寸法や構造規模に応じて決定)
制孔深さは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』の漏れを防ぎます。
3. 鉄筋探査を行った後に圧入孔を制孔します。
4. リハビリカプセル、コンプレッサーを設置します。
5. 全圧入孔に対し本加圧注入機を行い、『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

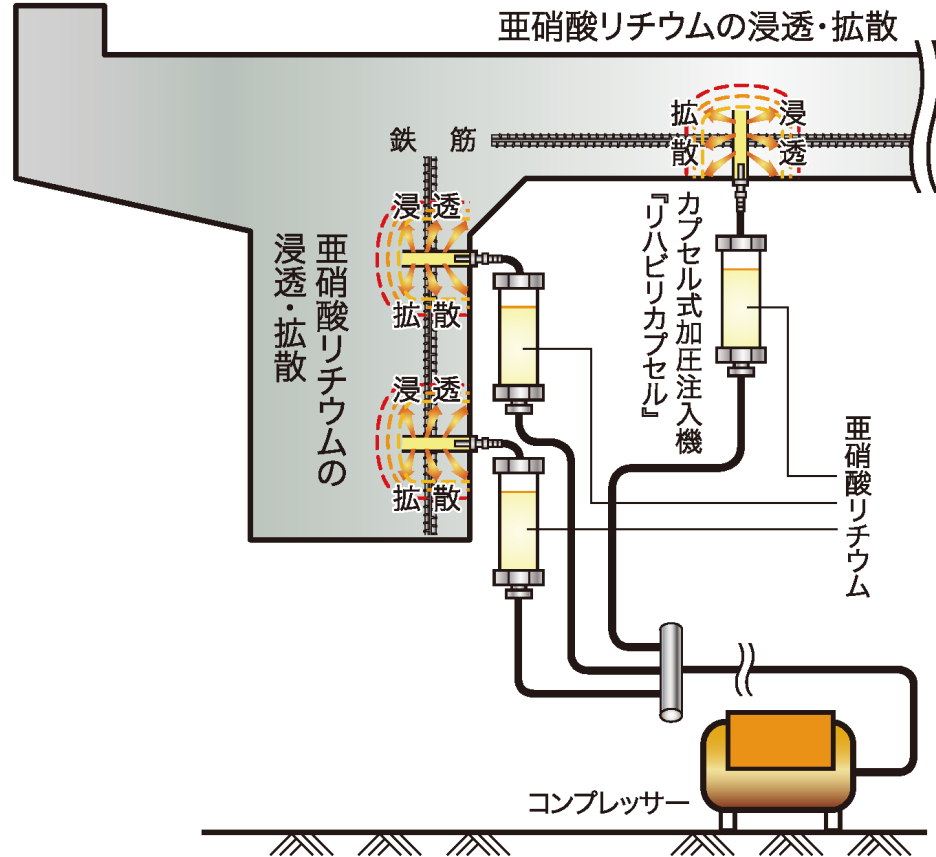
リハビリカプセル本体

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-12005-A)



- ①コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を500mmの間隔で行う
- ②カプセル式加圧装置にて浸透拡散型亜硝酸リチウムを部材表層部に内部圧入する
- ③削孔箇所を充填材にて埋め戻す

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



内部圧入工法(その2) 『ASRリチウム工法』



REHABILI
プロコン40
リハビリ工法

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

油圧式高圧注入 ASRリチウム工法



特徴

根本的なASR抑制対策!

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

効果的な鉄筋防錆対策!

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

施工仕様

圧入装置: 油圧式圧入装置『リハビリ圧入機』
抑制剤: 浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液『プロコン40』
注入量: コンクリートのアルカリ総量(ASRの場合)や塩化物イオン量(塩害の場合)に応じて定量的に決定
注入圧力: 0.5MPa~1.5MPaの範囲内でコンクリートの劣化程度に応じて構造物毎に決定
圧入孔: 射孔径はφ10mmまたはφ20mm(射孔深さに応じて決定)
射孔間隔は500mm~1,000mm(射孔寸法や構造体に応じた決定)
射孔深さは300mm~4,000mm

施工事例



橋台のASR補修事例

橋脚(はり部)のASR補修事例



測量のASR補修事例



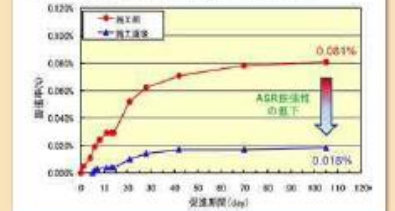
大気汚染によるASR補修効果検証実験

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射孔します。
4. リハビリ圧入機、耐圧ホース、加圧バツカーを設置します。
5. 全圧入孔に対し1孔毎に試験加圧注入工を行い、圧入工の適合性を評価します。
6. 全圧入孔に対し一斉に本加圧注入工を行い、『プロコン40』の設計量を内部圧入します。
7. 無収縮グラウト材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。

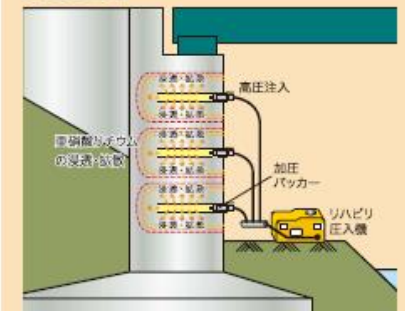
補修効果の検証

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。



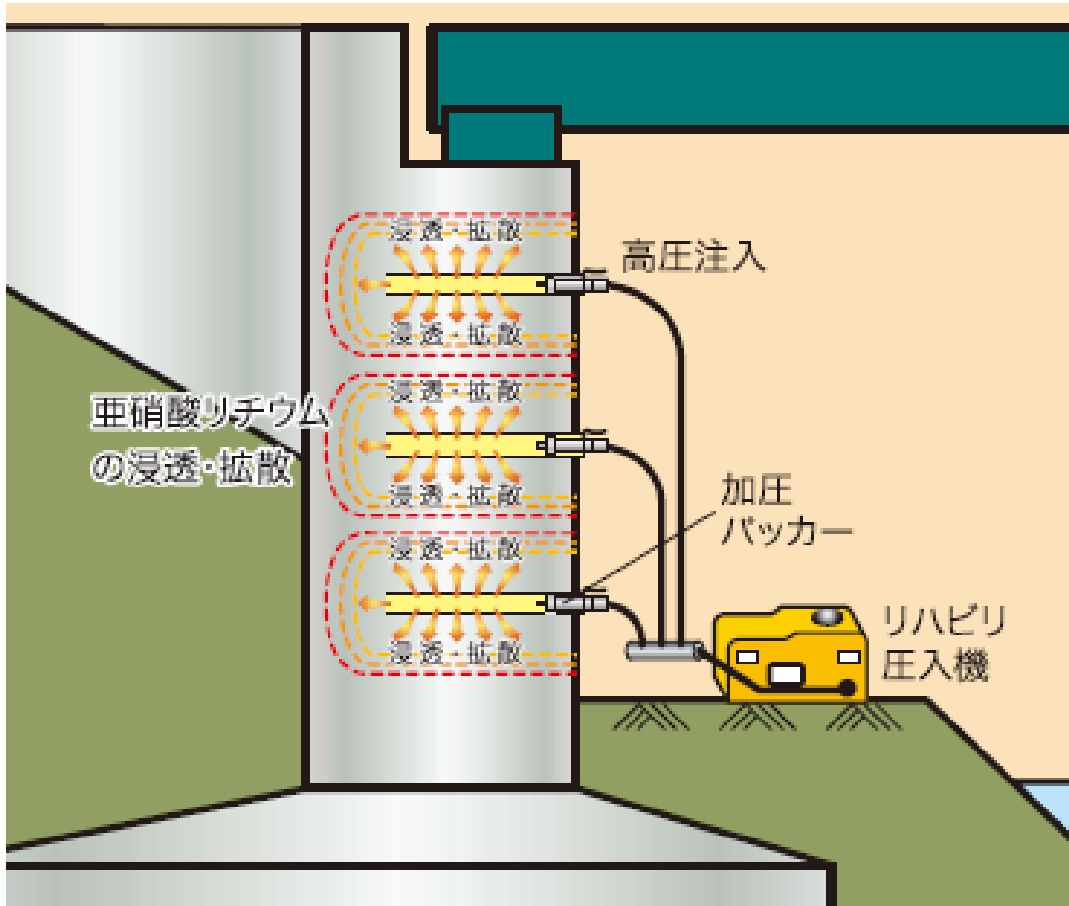
ASRリチウム工法施工前後の残存膨張量試験結果(JCI-DD2法)の例

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)



【塩害対策として⑦】 橋面防水工の実施に合わせて床版上縁側の鉄筋防錆

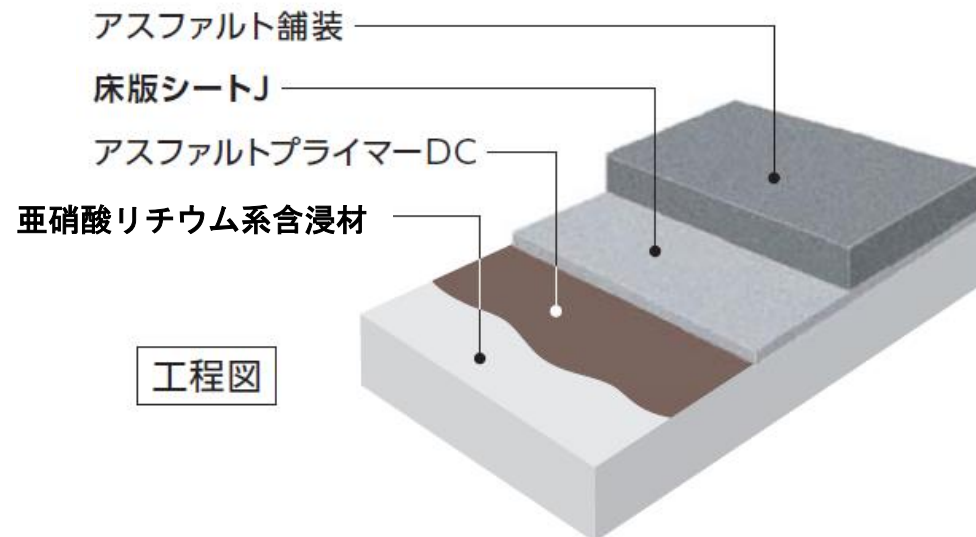
- ・床版の耐久性向上のためには橋面防水工が重要
- ・橋面からの凍結防止剤、内在塩分等の影響により床版上縁側鉄筋が腐食
 - ⇒ 橋面防水工の施工時には交通規制して舗装を撤去し、床版上面を露出させる



- ・そのタイミングを利用して、橋面防水工の施工直前に床版上縁側の鉄筋防錆
 - ⇒ 亜硝酸リチウム併用型橋面防水工『リハビリ防水工法(仮)』
 - ⇒ 床版上面に亜硝酸リチウム系含浸材を塗布した後に橋面防水工を行う
 - ⇒ 常温粘着性床版防水シートの開発により、亜硝酸リチウム塗布後でも施工可能

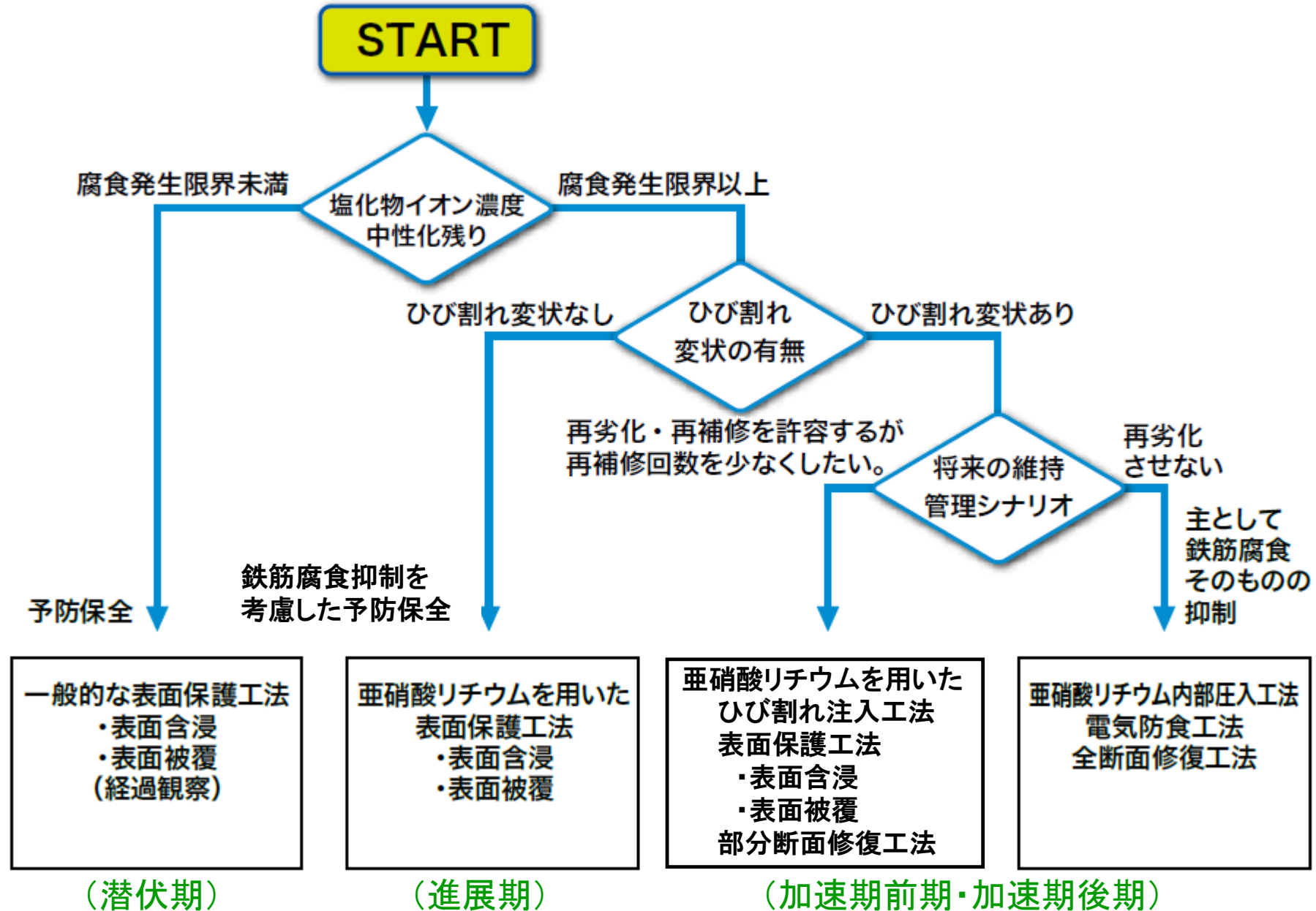


亜硝酸リチウムと相性のよい橋面防水工の開発により実用化（2018年秋予定）



5. 劣化機構に応じた補修工法の選定の考え方

【塩害・中性化で劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



【ASRで劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】

