

維持管理シナリオを考慮した コンクリート補修の考え方

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
極東興和株式会社

江良 和徳

主要内容

1. はじめに

2. コンクリートの劣化

- 塩害の劣化メカニズム
- 中性化の劣化メカニズム
- ASRの劣化メカニズム

3. コンクリート補修の基本的な考え方

- 塩害・中性化の補修工法選定
- ASRの補修工法選定

1. はじめに

【鉄筋腐食】



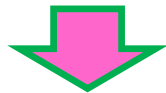
鉄筋腐食を生じているコンクリート構造物の例

【維持管理の重要性と課題】

- 劣化した構造物の急増 ⇒ 誰もが認識
- 維持管理の重要性 ⇒ ますます増加



- 維持管理にかけられる費用 ⇒ 不十分
- 維持管理に携わる人的資源 ⇒ 不十分
- 事後保全から予防保全へ ⇒ 糸口が見えず



厳しい社会状況下で**最善の維持管理**を目指す

2. コンクリートの劣化

- 塩害
- 中性化
- ASR

2. 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

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

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

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

(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

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

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

(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



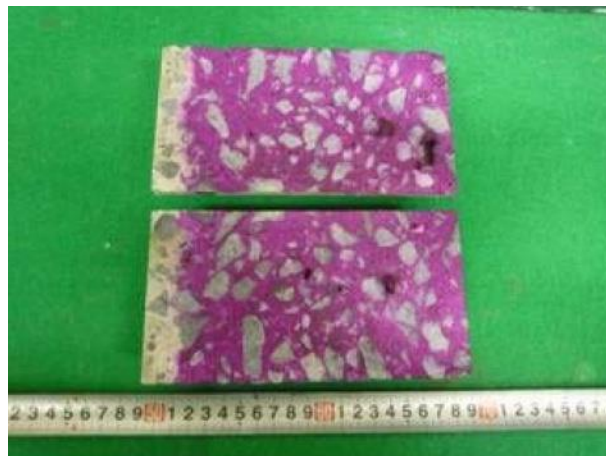
性能低下

- ・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

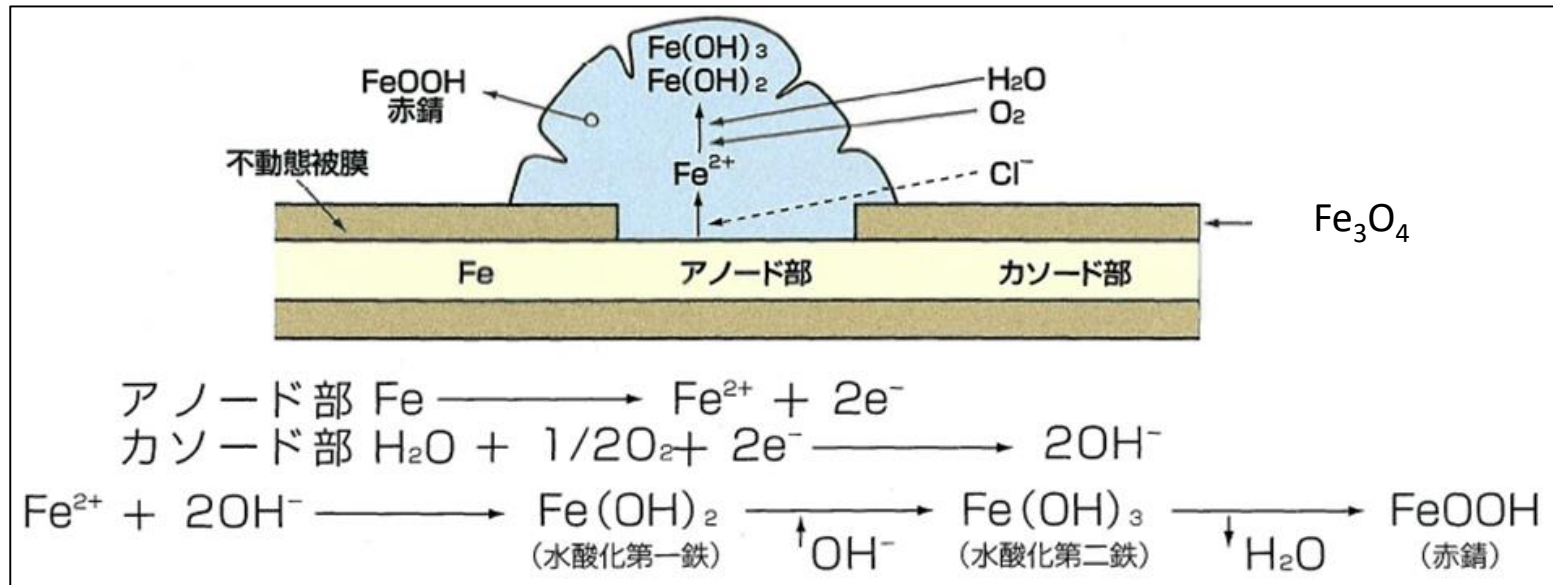


張出し床版下面の鉄筋露出

- ・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

【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

【中性化】・・・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，腐食 開始前
グレードⅡ	進展期	外観上の変状が見られない，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剥離・剥落が見られる， 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剥離・剥落が見られる，鋼材の断面欠損が生じている

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)

[中性化の劣化指標]

- ・中性化深さ
- ・鋼材腐食量
- ・腐食ひび割れ

2. 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

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

【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

【アルカリシリカ反応(ASR)】・・・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	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、 軽微なひび割れが発生 する。変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる場合もある。しかし、鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによるひび割れが進展し、 ひび割れの幅および密度、範囲が増大 する。また、 鋼材腐食によるさび汁 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、かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。 鋼材腐食が進行 し、さび汁が見られる。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：2018年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編] (土木学会)

[ASRの劣化指標]

- ・膨張量
(ひび割れ)

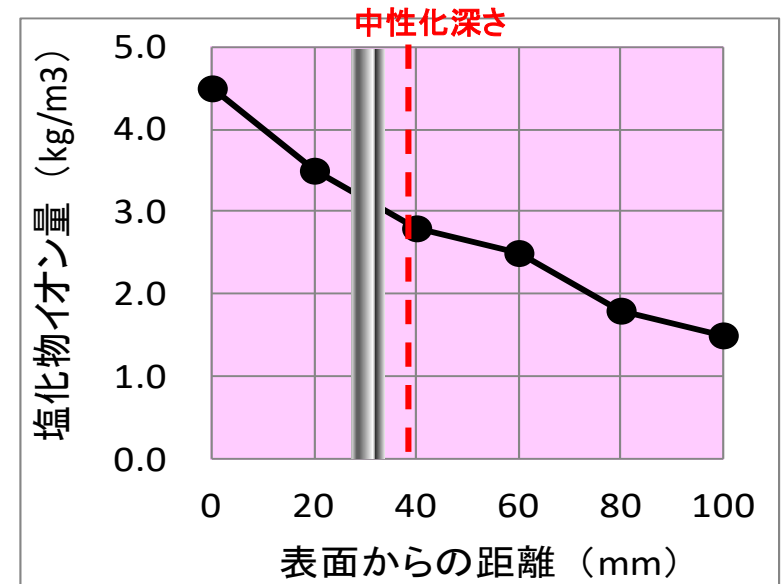
[加速期の定義の変更]

- ・膨張の進行速度の記述が削除された
(⇒確かめようがないため)

3. コンクリート補修の基本的な考え方

- 塩害・中性化の補修工法選定
- ASRの補修工法選定

3. 1 塩害・中性化の補修工法選定



【塩害・中性化の補修工法選定】 … 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・中性化の補修工法選定】・・・事例1: 予防保全

[条件]

- ・道路橋RCけた
- ・海岸線から300mに位置し、**飛来塩分の影響**を受ける
- ・定期点検および外観目視調査の結果、**ひび割れ等の変状なし**

[着目点]

- ・環境条件より塩害および中性化による劣化進行を想定
- ・塩化物イオン含有量試験および中性化深さ試験を実施
- ・**「潜伏期」**または**「進展期」**を判別 ⇒ **劣化過程によって考え方が異なる**
- ・劣化過程と維持管理シナリオに応じて工法選定



【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 が発生，さび汁が見られる
グレードⅢ-2	加速期中期	腐食ひび割れの進展が見られる， 鋼
グレードⅣ	加速期後期	腐食ひび割れが広がる，鋼材腐食が大きい

『潜伏期』と『進展期』の違いは？

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

劣化過程が『潜伏期』の場合

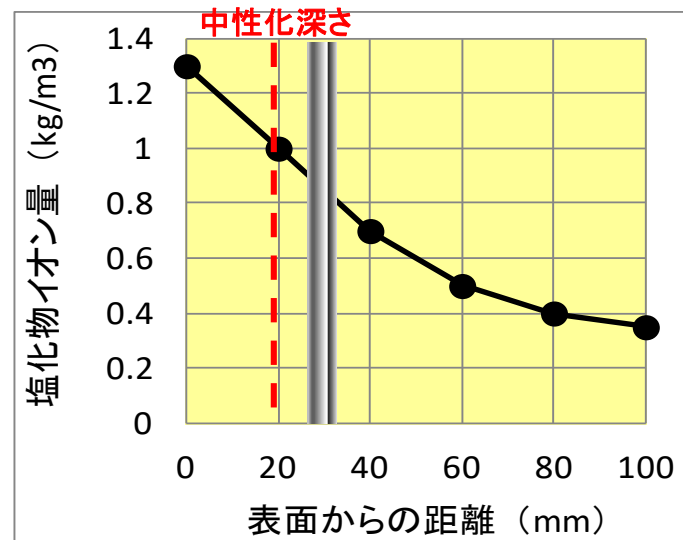
[劣化指標]

- ・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)
- ・中性化残りが発錆限界以上(中性化)
⇒ 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)
⇒ 劣化因子を遮断し、鉄筋腐食環境さえ作らなければ鉄筋は腐食しない
⇒ 一般的な表面含浸工の適用



※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

劣化過程が『潜伏期』の場合

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

(1) 経過観察シナリオ

- ・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
⇒ 点検強化、モニタリングによる継続的な状況把握が必須

(2) 要求性能を満たす表面含浸工を定期的に行うシナリオ

- ・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
 - ⇒ 軽微な処置を繰り返すことで塩害劣化させない
 - ⇒ 表面含浸材の劣化因子遮断性能にて材料選定
 - 塩化物イオン浸透に対する抵抗性
 - 中性化に対する抵抗性

(2) 要求性能を満たす表面含浸工を定期的に行うシナリオ

参考: 一般的な表面含浸材の種類

種別		特長	備考
シラン系		<ul style="list-style-type: none">疎水性のアルキル基によりコンクリート表層部に吸水防止層(撥水層)を形成。細孔を埋めないため呼吸性を損なわない。	<ul style="list-style-type: none">環境によっては中性化を促進することもある。滞水する部位では適用困難。
けい酸塩系	反応型 けい酸塩系	<ul style="list-style-type: none">けい酸ナトリウム系けい酸カリウム系水酸化カルシウムと反応し、C-S-Hゲルを生成して空隙を充填する。水分供給により再度溶解。	<ul style="list-style-type: none">微細ひび割れを閉塞。中性化が進行した領域ではカルシウム分が減少しており、反応困難。
	固化型 けい酸塩系	<ul style="list-style-type: none">けい酸リチウム系材料自体の乾燥固化により空隙を充填する。固化物は難溶性。	<ul style="list-style-type: none">微細ひび割れを閉塞。表面硬度の向上。劣化因子遮断性はやや低い。

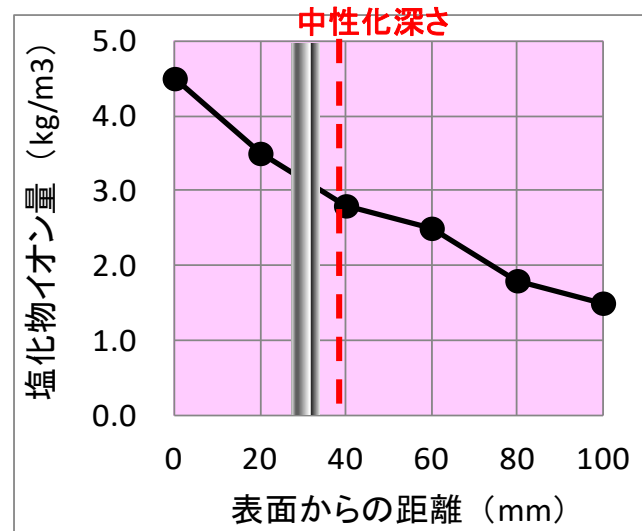
劣化過程が『進展期』の場合

[劣化指標]

- ・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)
- ・中性化残りが発錆限界未満(中性化)
 - ⇒ 不動態皮膜は既に破壊されている
 - 鉄筋腐食は既に開始している
 - ⇒ ただ、ひび割れ発生には至っていない

[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
- ・鉄筋腐食進行を抑制する
 - ⇒ ひび割れが発生しなければ性能低下はない
 - ⇒ 既に進行中の鉄筋腐食反応を抑制し、ひび割れを発生させずに供用し続けたい



※まだ変状が生じる前なので予防保全の範疇

劣化過程が『進展期』の場合

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

(1) 経過観察シナリオ

- ・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
⇒ **それほど長くは放置できない**

(2) 要求性能を満たす表面保護工を定期的に行うシナリオ

- ・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**
 - 劣化因子の遮断を目的とした材料
 - 劣化因子の遮断＋鉄筋腐食抑制を目的とした材料

(2) 要求性能を満たす表面含浸工を定期的に行うシナリオ

参考：鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ表面含浸材の例

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・中性化の補修工法選定】・・・事例2:事後保全

[条件]

- ・海上部に位置するRC栈橋
- ・ひび割れ、錆汁、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出等の変状が見られる
- ・鉄筋位置での塩化物イオン量は腐食発生限界を超えている

[着目点]

- ・変状の規模、鉄筋腐食の程度、鉄筋断面減少の有無等を調査
- ・「加速期前期」または「加速期後期」を判別
- ・劣化過程と維持管理シナリオに応じて工法選定



【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見られる，変位・たわみが大きい

(土木学会)

『加速期前期』と『加速期後期』
の違いは？

[塩害]

- ・塩化物イオン濃度
- ・鋼材腐食量
- ・腐食ひび割れ

劣化過程が『加速期前期』の場合

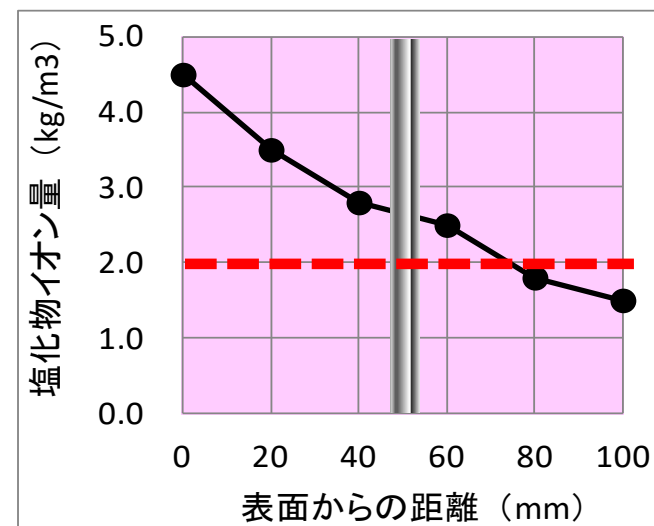
[劣化指標]

- ・腐食ひび割れやコンクリートの浮き・はく離の程度
- ・鉄筋腐食量、腐食速度
 - ⇒ 既に鉄筋腐食が進行し、変状が顕在化
 - ⇒ ひび割れを通じて腐食鉄筋に劣化因子が直接作用する
 - ⇒ 劣化速度が加速し始める



[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
- ・鉄筋腐食進行を抑制する
 - ⇒ ひび割れの進展に伴って耐久性能が低下
 - ⇒ これ以上の変状の増大を防ぐ



※ 既に腐食環境下にある鉄筋に対して、如何にして腐食進行を抑制するか

劣化過程が『**加速期前期**』の場合

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

(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シナリオ

- ・劣化因子を遮断して劣化の進行速度を遅らせる
- ・これらの対策では再劣化する可能性がある
- ・外観変状がまだ比較的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
⇒ 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という選択
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

(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シナリオ

- ・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

(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シナリオ



劣化過程が『加速期後期』の場合

[劣化指標]

- ・ひび割れ本数、幅、長さの増大
- ・コンクリートの浮き、剥離、剥落の範囲
- ・鉄筋腐食量、腐食速度
 - ⇒ ひび割れや浮き剥離箇所を通じて腐食鉄筋に劣化因子がさらに供給
 - ⇒ 劣化速度がさらに加速し、変状範囲拡大

[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
 - ⇒ まだ鉄筋の断面減少までは至っていない
 - ⇒ この時点で鉄筋腐食を確実に抑制し、これ以上の性能低下を防ぐ
 - ⇒ 劣化期に陥る前にここで食い止める



※ 劣化期にまで性能低下させないための最後の砦

劣化過程が『**加速期後期**』の場合

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

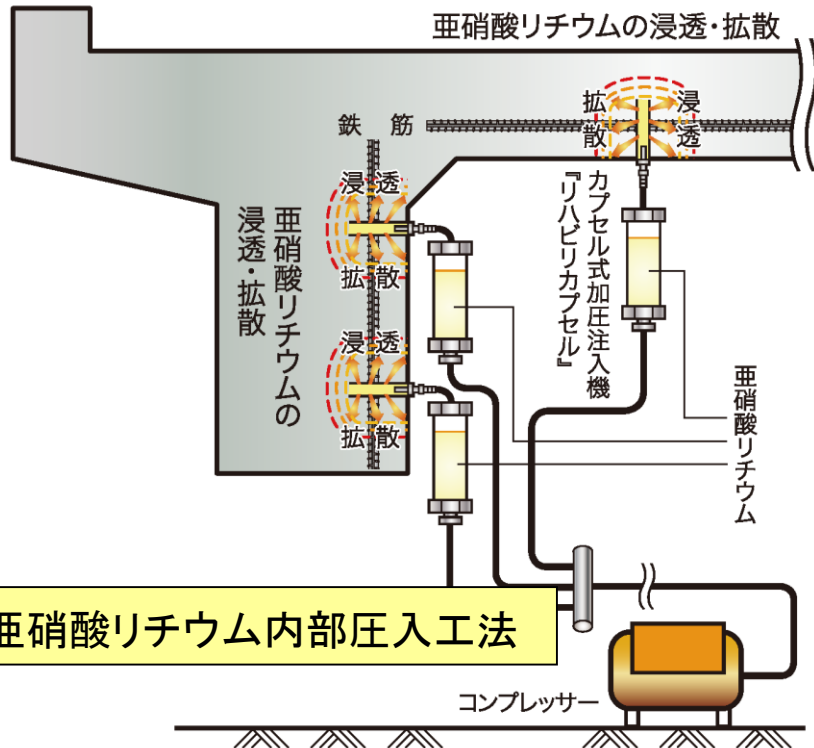
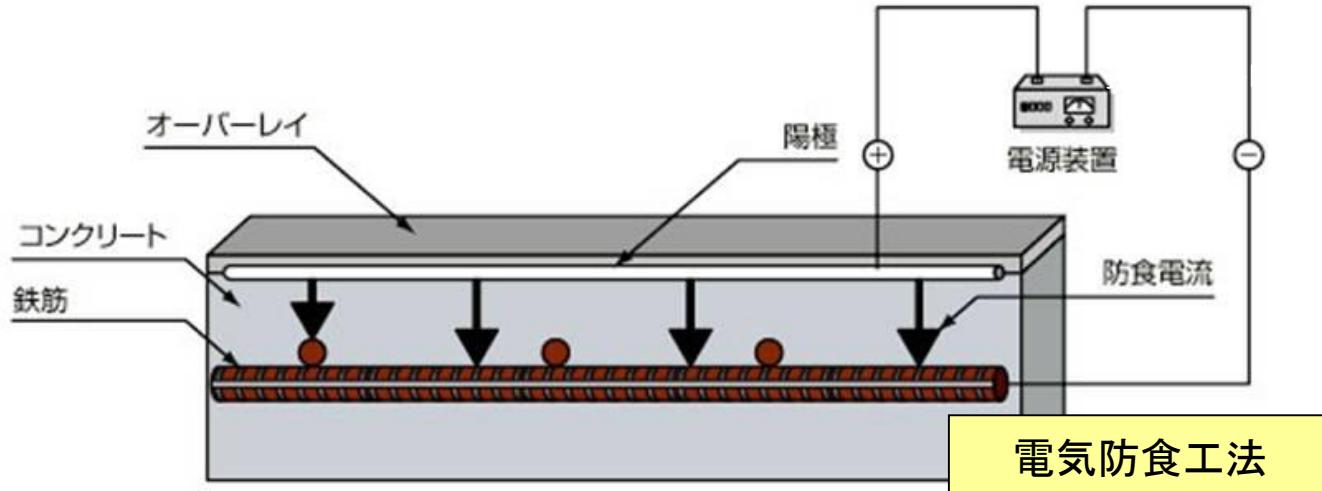
(1) ひび割れ注入、表面保護、部分断面修復など最小限の補修を定期的に行うシナリオ

- ・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シナリオ

- ・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

(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シナリオ



【塩害・中性化の補修工法選定】 … 事例3:劣化期

[劣化指標]

- ・大規模なはく離、はく落。
- ・鉄筋腐食量、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



[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

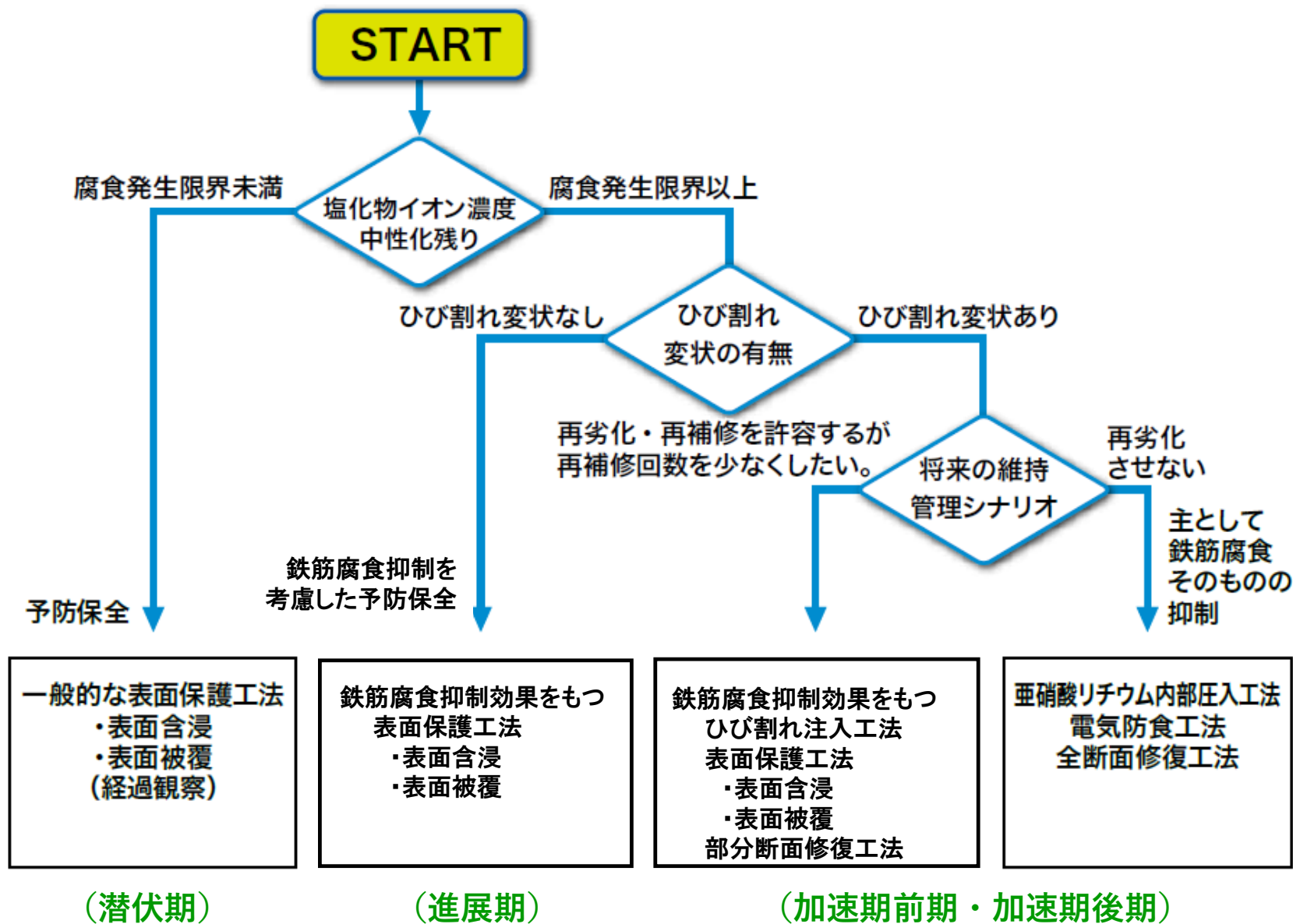


[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

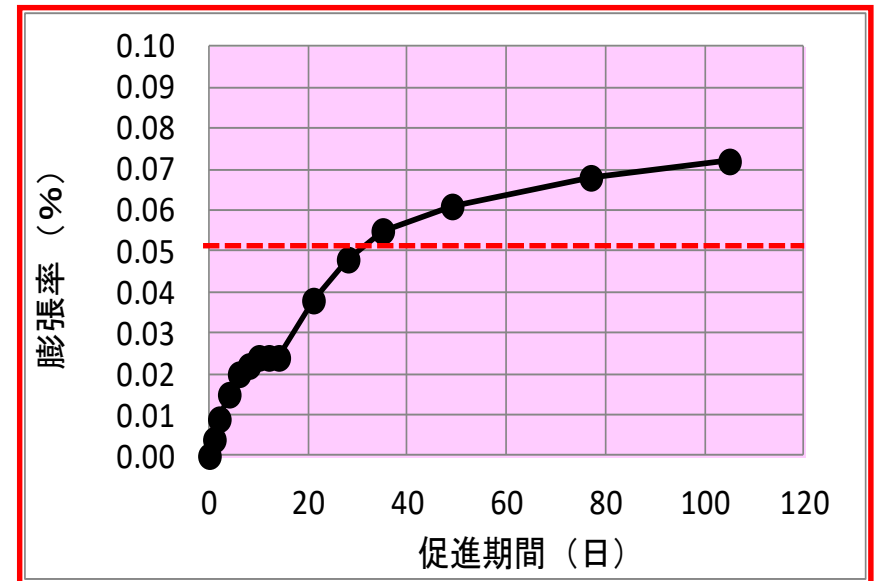
- ・工学的に必要とされる対策を早急に採る以外ない
 - ⇒ 補修だけでなく、補強まで必要な場合も
 - ⇒ 供用制限、架け替えなども検討

※ 必要となる対策が補修にとどまらず、緊急性も高い

【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】



3. 2 ASRの補修工法選定



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の補修工法選定】・・・事例1:事後保全

[条件]

- ・平野部に位置する道路橋RC橋台
- ・竣工後30年経過
- ・コンクリート表面に亀甲状のひび割れが多数発生している

[着目点]

- ・ASR膨張性を評価し、将来的に有害な膨張が進行するか否かを評価
⇒残存膨張量試験、過去の点検結果との比較など
- ・ひび割れからの錆汁の有無(鉄筋腐食の可能性)を評価



【アルカリシリカ反応(ASR)】・・・劣化過程

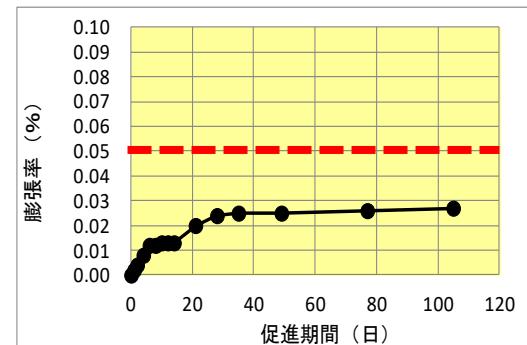
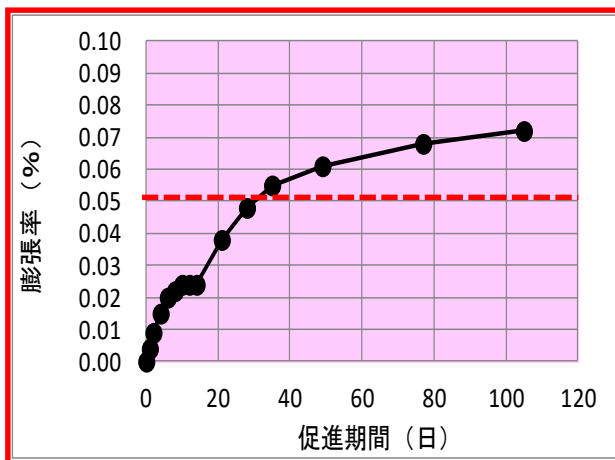
外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ 発生せず 、外観上の変状が見られない
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、 軽微なひび割れが発生 する。変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる場合もある。しかし、鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによるひび割れが進展し、 ひび割れの幅および密度、範囲が増大 する。また、 鋼材腐食によるさび汁 が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、ずれや、かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。 鋼材腐食が進行 し、さび汁が見られる。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：2018年制定 コンクリート構造の劣化診断方書 [維持管理編] (土木学会)

[ASRの劣化]

「劣化の状態」にASR膨張性の
評価(大小)は含まれない

劣化過程が『加速期』の場合



【劣化指標】

- ・ASR膨張量
- ・ひび割れ幅、ひび割れ密度
- ・鉄筋腐食度

【ASR膨張性の評価】

- ・目視等による定期的な調査
- ・コア採取による残存膨張量試験
- ・ASRを促進させうる環境作用評価

【補修工法の主たる要求性能】

残存膨張性が有害の場合

- ・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）
- ・アルカリシリカゲルの膨張性を消失、低減させる（ゲルの非膨張化）

※ 水分侵入を確実に止めることができるか否か

劣化過程が『**加速期**』の場合

【維持管理シナリオに応じた補修工法の選定（残存膨張性が有害の場合）】

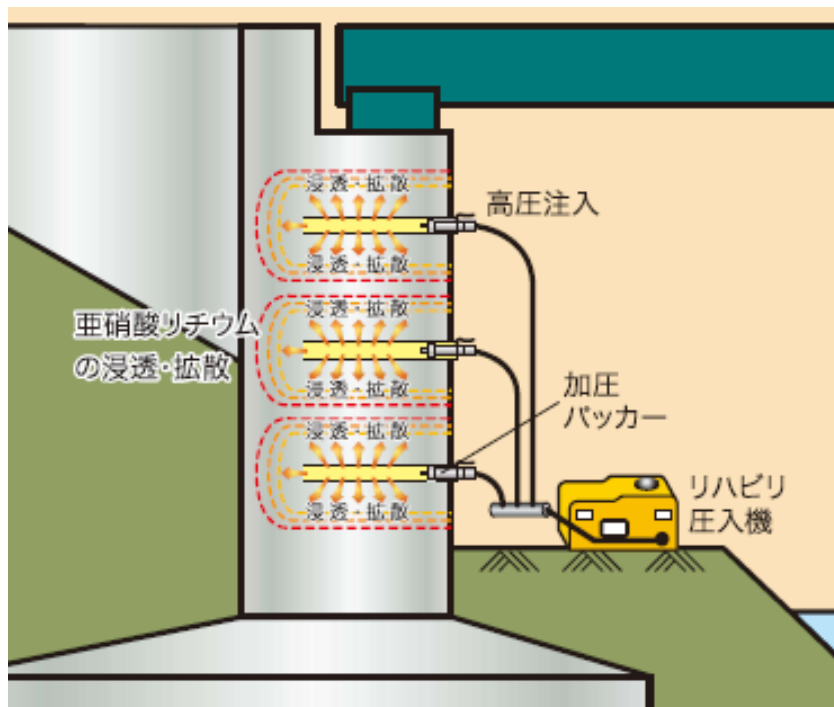
(1) ひび割れ注入工、表面保護工など最小限の補修を定期的に行うシナリオ

- ・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
 - 鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ材料、工法を選択することも重要

(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シナリオ

- ・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;適用可能な条件下において）
 - ⇒ 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

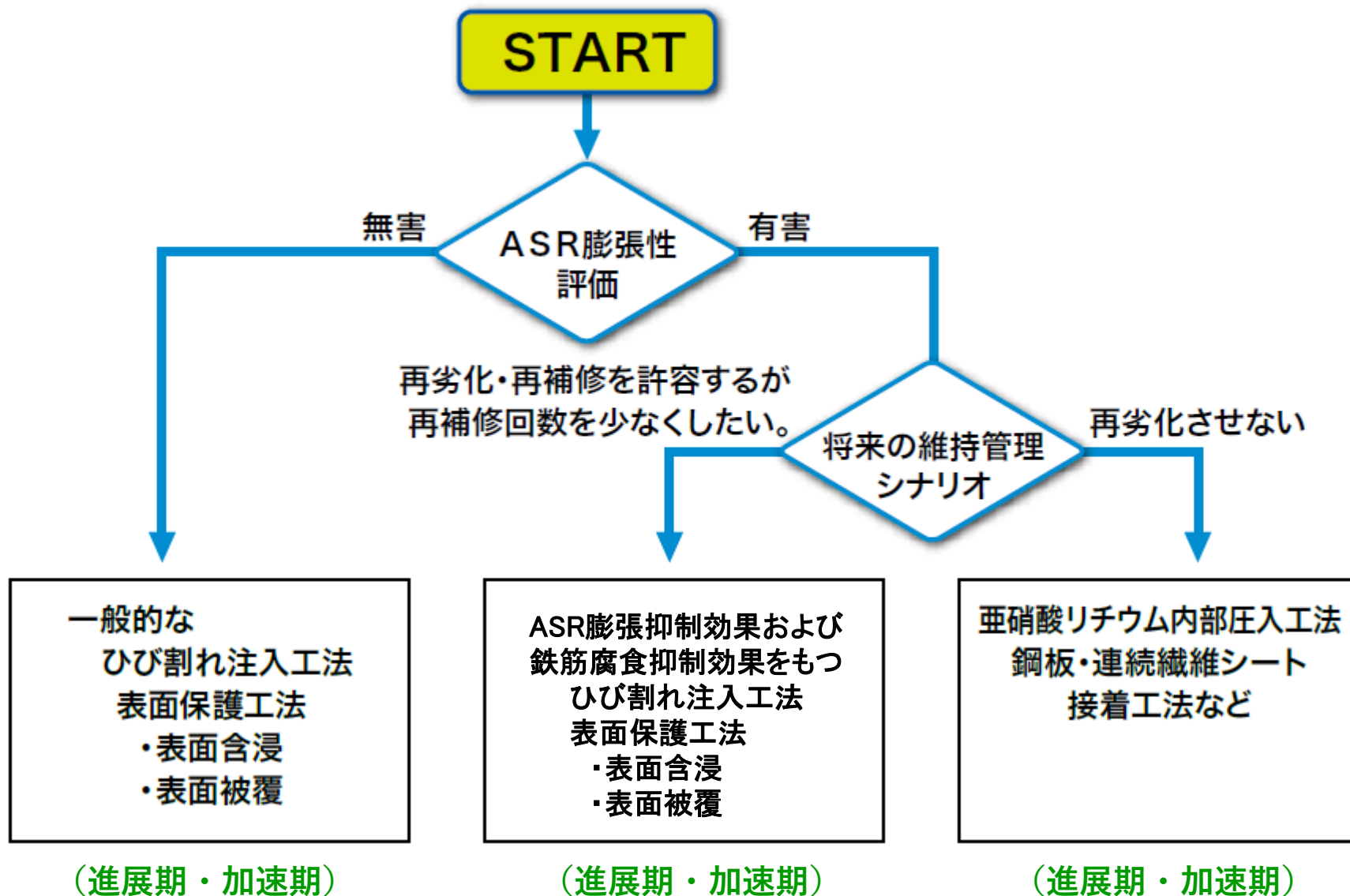
(2) ASR膨張を根本的に抑制することで、将来的な再劣化を許容しないシナリオ



- 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

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【ASRで劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



おわりに

補修工法の選定方法

- ・劣化機構(メカニズム)と劣化過程(程度)に応じて補修工法を選定する
 - ⇒ なぜ劣化が生じているのか？
 - ⇒ 次の劣化過程に進行させないために何が必要か？
- ・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
 - ⇒ 今後、どのように維持管理していくつもりなのか？



『適切な維持管理にて構造物の健康寿命を延ばす』