

コンクリートの劣化機構を理解して 維持管理に活かす (Part2)

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

専務理事/技術委員長 江良和徳

1. 劣化機構を理解する

- 塩害
- 中性化(と水の浸透による鋼材腐食)
- ASR
- 凍害
- 化学的侵食(下水道の硫酸劣化)
- 疲労(RC床版の疲労)

2. 維持管理に活かす

- 補修工法選定の考え方
- 維持管理のシナリオ
- 橋梁延命化シナリオ研究会の取り組み

はじめに

亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針(案) 第3版

コンクリート構造物を対象とした 亜硝酸リチウムによる 補修の設計・施工指針(案)

第3版

- 亜硝酸リチウムの特性
- 亜硝酸リチウムを用いた補修設計の考え方
- 亜硝酸リチウムを用いた各種補修の設計・施工



2025年6月

一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会

委員長：十河茂幸
幹事長：江良和徳
幹事：徳納 剛， 峯松昇司
編集委員：竹田宣典， 濱崎 仁， 牛島 栄， 小椋明仁，
岡田繁之， 真鍋英規， 福田杉夫， 須藤裕司，
勘田泰邦
アドバイザー：宮川豊章， 梶田佳寛， 添田政司， 松田 浩，
鎌田敏郎， 久田 真， 小林孝一， 上田隆雄，
久保善司， 山本貴士， 黒田 保， 井上真澄，
李 春鶴， 富山 潤， 川崎佑磨， 櫛原弘貴，
高谷 哲， 平田隆祥， 谷口秀明， 野村昌弘，
内田博之， 堀 孝廣

編集委員会の構成

総ページ数：213頁
定価：¥3,800円

4

亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針(案) 第3版

目次構成

【共通編】

- 1章 総則
- 2章 亜硝酸リチウムの特性
- 3章 亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方

【工法別マニュアル編】

- 1. 亜硝酸リチウム併用型 表面含浸工法の設計・施工
- 2. 亜硝酸リチウム併用型 表面被覆工法の設計・施工
- 3. 亜硝酸リチウム併用型 断面修復工法の設計・施工
- 4. 亜硝酸リチウム併用型 ひび割れ注入工法の設計・施工
- 5. 亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工
- 6. 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工
- 7. 亜硝酸リチウム併用型 床版防水工法(コンクリート舗装用)の設計・施工

塩害による劣化の事例



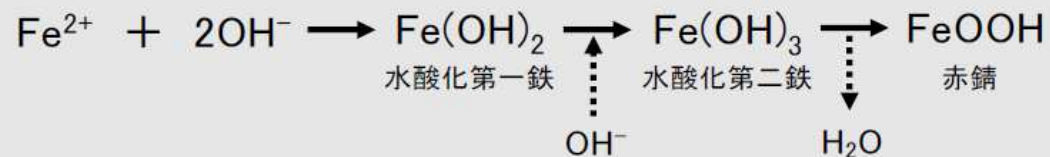
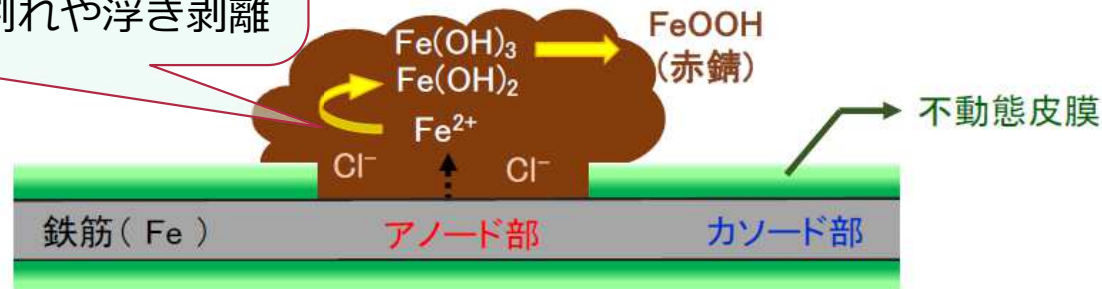
不動態皮膜と鉄筋腐食 (塩害)

- ・コンクリート中(強アルカリ環境)にある鉄筋は、**不動態皮膜**によって腐食から保護されている
- ・しかし、腐食発生限界を超えた**塩化物イオン**の存在下では、不動態皮膜が破壊され、鉄筋は腐食しやすい環境に晒される
- ・そこに**水と酸素**が供給されると鉄筋は腐食する(腐食生成物の体積膨張)

【塩害】

高い塩化物イオン量により不動態皮膜が破壊

鉄筋腐食による膨張圧 ➡ ひび割れや浮き剥離



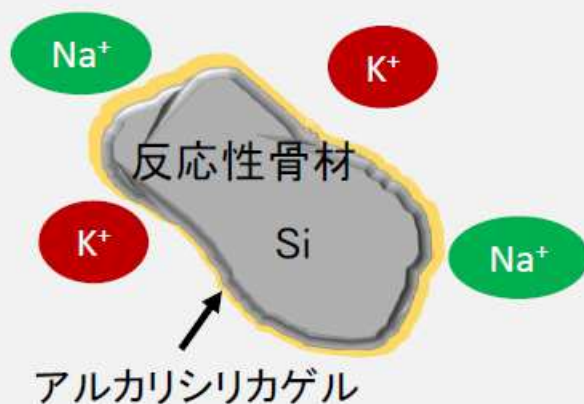
ASRによる劣化の事例



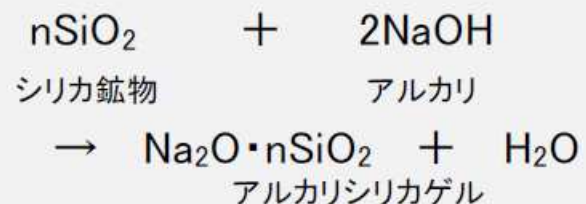
ASRによる劣化のメカニズム

第1ステージ

『アルカリシリカゲルの生成』



《化学式》

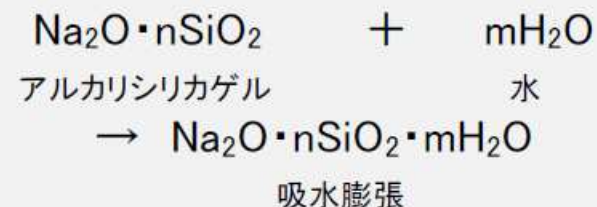


第2ステージ

『アルカリシリカゲルの膨張』

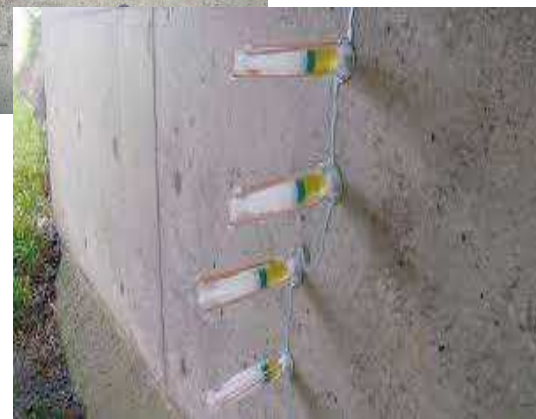


《化学式》



2. 維持管理に活かす

2.1 補修工法



1. 表面被覆工法



【目的】

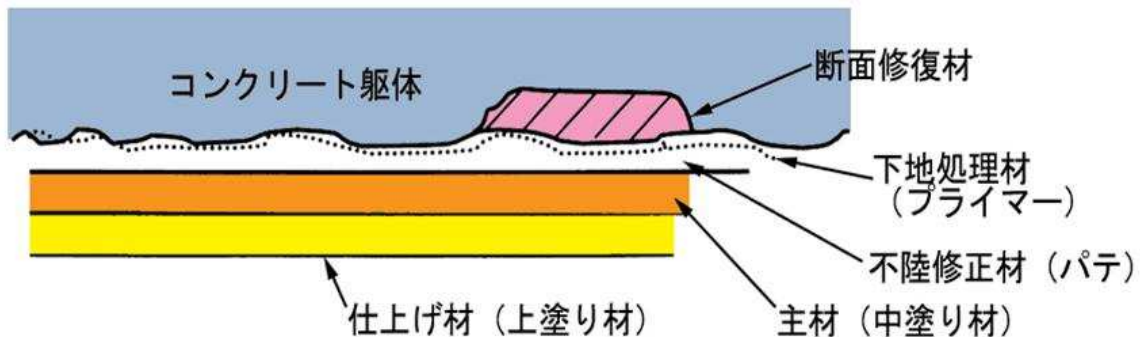
- ・劣化因子の侵入抑制
- ・美観性の向上

【特徴】

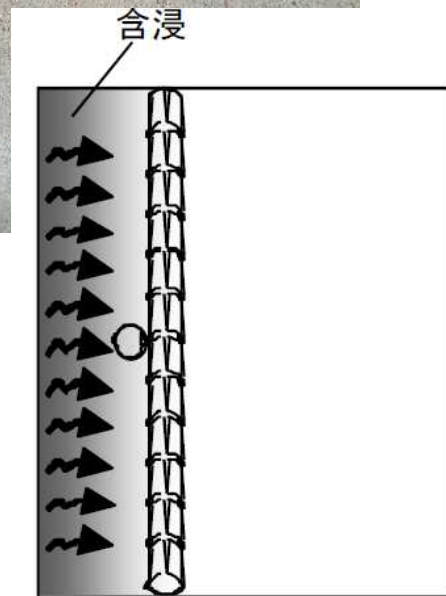
- ・有機系や無機系の被覆材を複数層塗り重ね、塗膜を形成する
- ・刷毛やローラーにて塗布する
- ・膜厚で管理する

【留意点】

- ・施工後はモニタリング性に劣る



2. 表面含浸工法



【目的】

- ・劣化因子の侵入抑制(+ α)

【主な使用材料】

- ・シラン系含浸材 : 撥水効果付与
- ・けい酸塩系含浸材 : コンクリートの緻密化
- ・鉄筋腐食抑制タイプ : 鉄筋防錆効果をプラス

【特徴】

- ・表面含浸材をコンクリート表面に塗布する
- ・含浸したコンクリート表層部が改質される
- ・塗布量で管理する
- ・施工後も外観を変えない

2. 表面含浸工法（一般的な表面含浸材の種類と特徴）

種別		特長	備考
シラン系		・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わない。	・水分、塩化物イオンの遮断性は優れるものの、中性化を促進することもある。 ・ただし、材料選定次第では中性化へも適用可能。 ・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	・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。	・微細ひび割れであれば閉塞。 ・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、緻密化の反応が困難。 ・ASRを助長する可能性あり。
	固化型 けい酸塩系	・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。	・微細ひび割れを閉塞。 ・表面硬度の向上。

参考：表面被覆工法と表面含浸工法との比較（基本性能の比較）

比較項目	表面含浸工法（主としてシラン系）	表面被覆工法
劣化抑制メカニズム	コンクリート表層部の組織に浸透し、吸水防止層（撥水層）を形成する	コンクリート表面に連続した樹脂等の塗膜（物理的バリア）を形成する
外部からの遮水性	高い（液体は弾く）	極めて高い
水蒸気透過性	あり（内部の湿気を外部へ逃がす）	工法による（一般に低く、透湿性を付与したものもある）
ガス遮断性	低い	高い
ひび割れ追従性	なし	工法による（柔軟性被覆材）
外観とモニタリング	外観を変えない（変状の進行を確認可）	塗装色になる（変状の進行を隠蔽）
干満帯、水中の適用	適用不可	工法による（水中硬化型被覆材）
第三者被害の防止	なし	工法による（剥落防止を兼ねる被覆材）
施工性、経済性	比較的容易・安価（下地処理の負担が少ない）	工程が多い・高価（厳密な下地処理と乾燥が必要）

参考：表面被覆工法と表面含浸工法との比較（劣化要因別の比較）

比較項目	表面含浸工法 (シラン系)	表面被覆工法	判定の理由
塩害環境	◎	○	どちらも塩化物イオンの侵入を抑制可能。ただし、内部にすでに水分や塩分がある場合、被覆工法は塗膜の膨れ・剥がれのリスクがある。
中性化環境	△	◎	含浸工法は透湿性があるため炭酸ガスの侵入抑制効果は低い。中性化対策には、ガス遮断性に優れる被覆工法が有利。
ASR環境	◎	△	被覆工法は内部の水分を閉じ込めてしまい、アルカリシリカゲルの吸水膨張を助長する危険がある。透湿性のある含浸工法が有利。
凍害環境	◎	△	含浸工法は吸水を防ぎつつ内部を乾燥させるため凍害に有効。被覆工法は微小な欠陥から水が浸入すると、塗膜裏面で凍結して剥離しやすい。
化学的侵食環境	×	◎	含浸工法はコンクリート表層を酸から保護する機能はない。耐酸性を備えた樹脂等の被覆工法(防食被覆)による完全遮断が必須。

3. ひび割れ注入工法



【目的】

- ・ひび割れの閉塞
- ・劣化因子の侵入抑制

【適用範囲】

- ・幅0.2mm以上

【使用材料】

- ・エポキシ樹脂系、セメント系など
- ・鉄筋腐食抑制タイプ

【施工方法】

- ・ひび割れに沿って自動低圧注入器を設置し、注入器間のひび割れをシールする
- ・注入材を注入し、硬化養生する
- ・硬化後、注入器を撤去して表面を平滑にケレンする

3. ひび割れ注入工法 (ひび割れ注入工法の選定の着目点)

【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因しない場合】

例) 乾燥収縮ひび割れ、温度ひび割れなど



一般的なひび割れ注入(エポキシ樹脂等)の適用性が高い
(要求性能: ひび割れの閉塞)

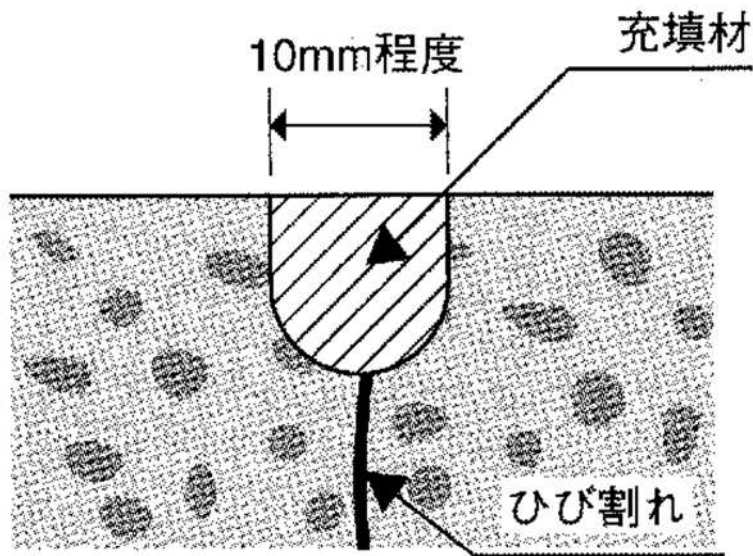
【ひび割れの発生原因が鉄筋腐食に起因する場合】

例) 塩害、中性化などによるひび割れ



鉄筋腐食抑制型ひび割れ注入(亜硝酸リチウム併用)の適用性が高い
(要求性能: ひび割れの閉塞 + 鉄筋腐食抑制)

参考: ひび割れ充填工法



目的

- ・ひび割れ表層部の閉塞
- ・劣化因子の侵入抑制

適用範囲

- ・概ね幅1.0mm以上

使用材料

- ・シーリング材
- ・ポリマーセメントモルタル

施工方法

- ・ひび割れに沿って10～15mm程度にU形にカットする
- ・カットした断面に充填材を詰める

留意点

- ・鉄筋腐食抑制の観点からは充填工法よりも注入工法の方が適する
⇒幅だけでなくひび割れ発生原因に応じて工法を選定

4. 断面修復工法



【目的】

- ・コンクリート浮き、剥離部の修復

【使用材料】

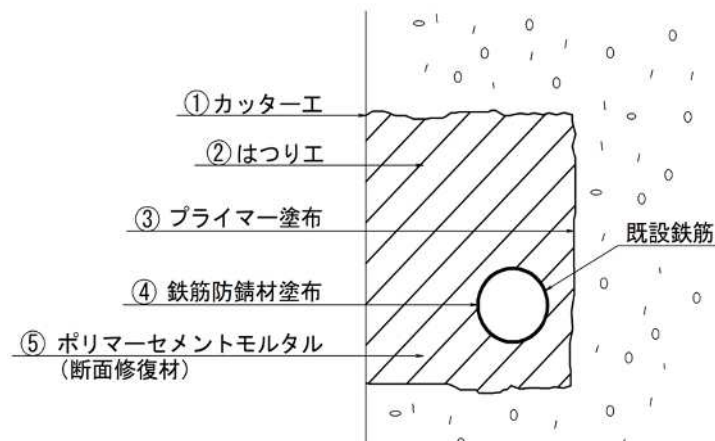
- ・ポリマーセメントモルタル

【施工方法】

- ・浮き、剥離箇所を入念にはつりおとす
- ・鉄筋表面をケレンする
- ・鉄筋表面に防錆剤を塗布する
- ・ポリマーセメントモルタルにて断面を修復する

【備考】

- ・対象構造物に応じて工法を選定
 - 左官工法
 - 吹付工法
 - プレパックド工法

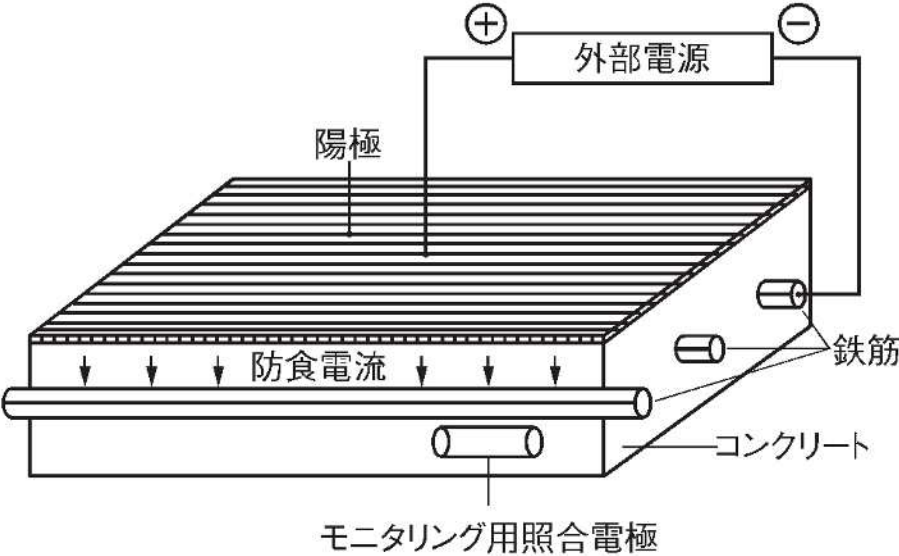


4. 断面修復工法（部分断面修復と全断面修復）

部分断面修復工法	全断面修復工法
	
・コンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出などの変状箇所を部分的にはつき取り、断面修復材にて埋め戻す ・はつき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	・鉄筋背面までのコンクリートを全てはつき取り、断面修復材にて埋め戻す ・鉄筋位置に存在していた塩化物イオンは全て除去されている ・「劣化因子の除去」という要求性能を完全に満たすための断面修復工法はこの全断面修復工法を指す

5. 電気防食工法

【目的】・鉄筋腐食の根本的な抑制

外部電源方式	流電陽極方式
	
・表面に陽極材を設置し、外部電源と接続 ・強制的に直流電流を供給し、鉄筋腐食を抑制 ・通電は防食期間中継続 ・電源設備と定期的な管理が必要	・亜鉛などの陽極材を鉄筋と接続(表面or埋設) ・イオン化傾向の違いにより鉄筋腐食を抑制 ・外部電源が不要で維持管理が容易 ・犠牲陽極材が消耗すると交換が必要

6. 亜硝酸リチウムの活用

【亜硝酸リチウムによる補修効果】

- ① 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果
- ② リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

亜硝酸イオン



不動態皮膜の再生により
鉄筋腐食を抑制



塩害・中性化 対策

リチウムイオン



アルカリシリカゲルを
非膨張化



ASR 対策

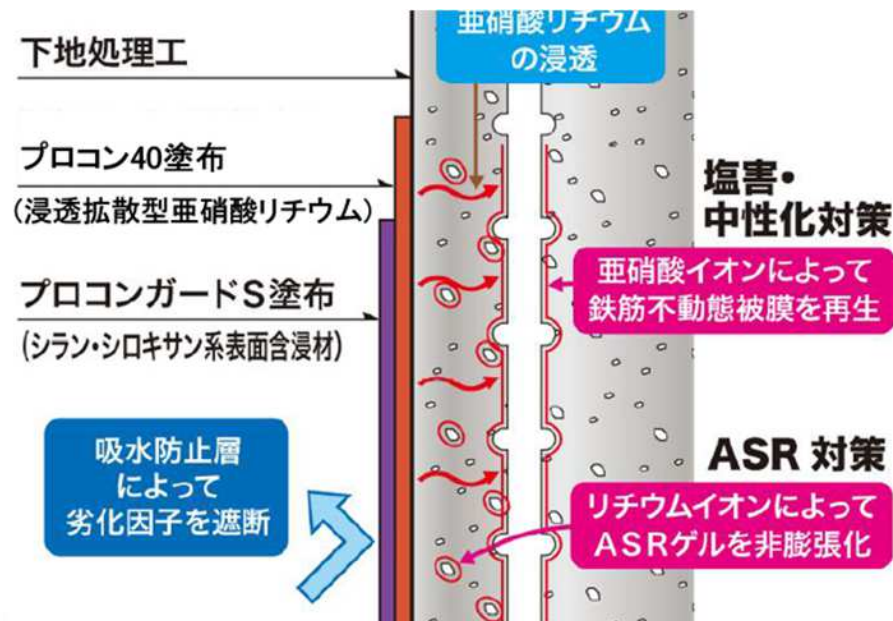


- ・ひび割れ注入工法、表面含浸工法、断面修復工法に併用する
- ・内部圧入工法に活用する



亜硝酸リチウム水溶液

6. 亜硝酸リチウムの活用 (表面含浸工法との併用)



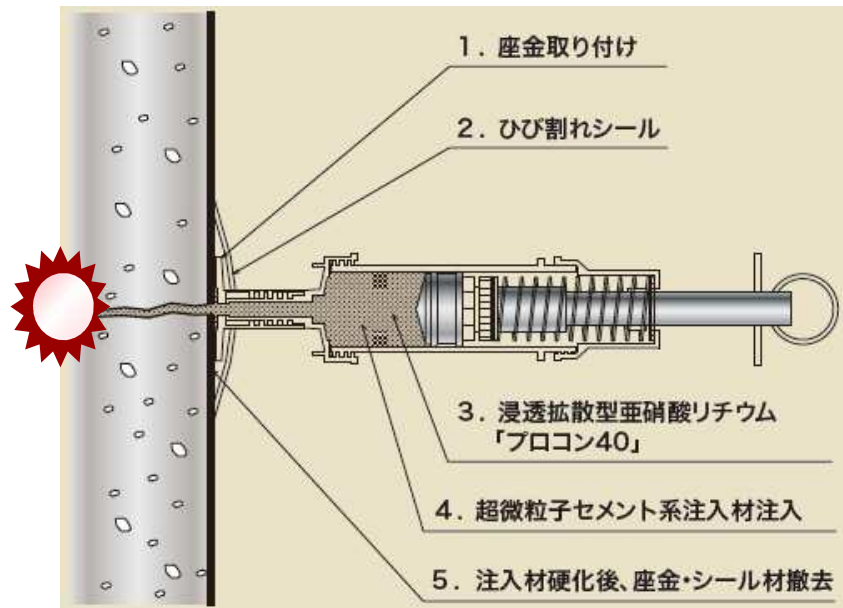
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウムを塗布し、内部へ含浸させる ⇒ **鉄筋防錆**
- ③シラン・シロキサン系含浸材を塗布し、撥水層を形成する ⇒ **劣化因子の遮断**

期待できる性能、効果

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』

6. 亜硝酸リチウムの活用 (ひび割れ注入工法との併用)

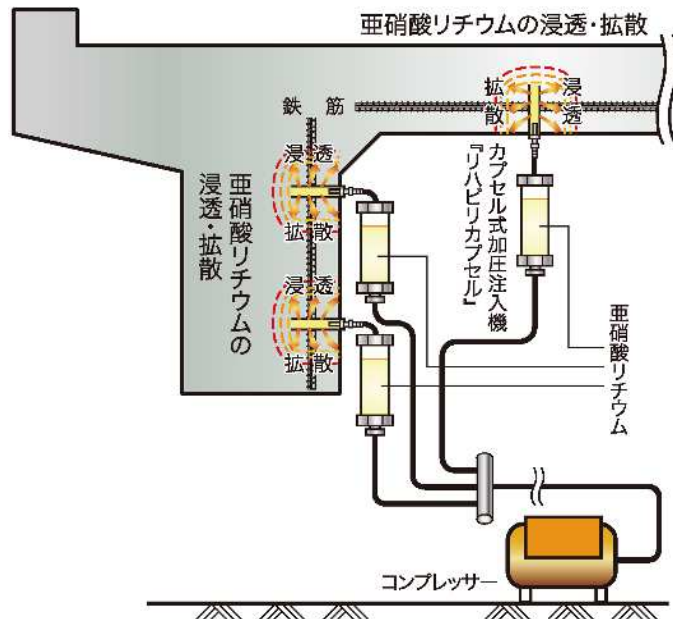


- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウムを先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

期待できる性能、効果

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』

6. 亜硝酸リチウムの活用 (塩害、中性化の補修としての内部圧入工法)

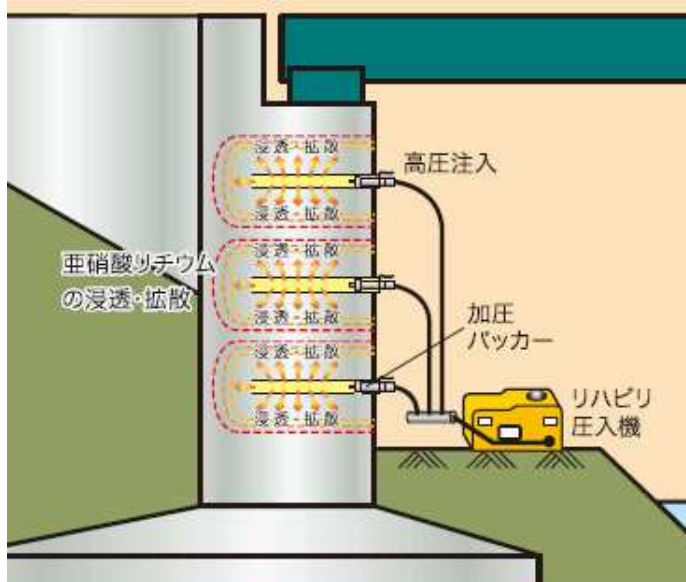


- ①コンクリートに $\phi 10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 程度の削孔を500mmの間隔で行う
- ②カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する
⇒ 不動態皮膜の早急かつ確実な再生

期待できる性能、効果

基本性能 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

6. 亜硝酸リチウムの活用 (ASRの補修としての内部圧入工法)



- ①コンクリートにφ20mmの削孔を750mm間隔で行う
- ②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する
⇒ アルカリシリカゲルの非膨張化

期待できる性能、効果

基本性能：『リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化』

2.2 維持管理のシナリオ

- 予防保全と事後保全
- 補修工法選定の考え方(塩害)
- 補修工法選定の考え方(ASR)

維持管理のシナリオ（予防保全と事後保全）

【予防保全と事後保全】

予防保全：構造物に目立った変状が表面化する前、あるいは構造性能や第三者への安全性が損なわれる前に、計画的かつ先制的に対策を講じる維持管理手法

事後保全：ひび割れ、かぶりコンクリートの剥落、鉄筋の露出といった変状がすでに顕在化し、構造物の要求性能（耐荷力、耐久性、第三者安全性など）が低下した後に、その機能を回復・修復させるために講じる維持管理手法

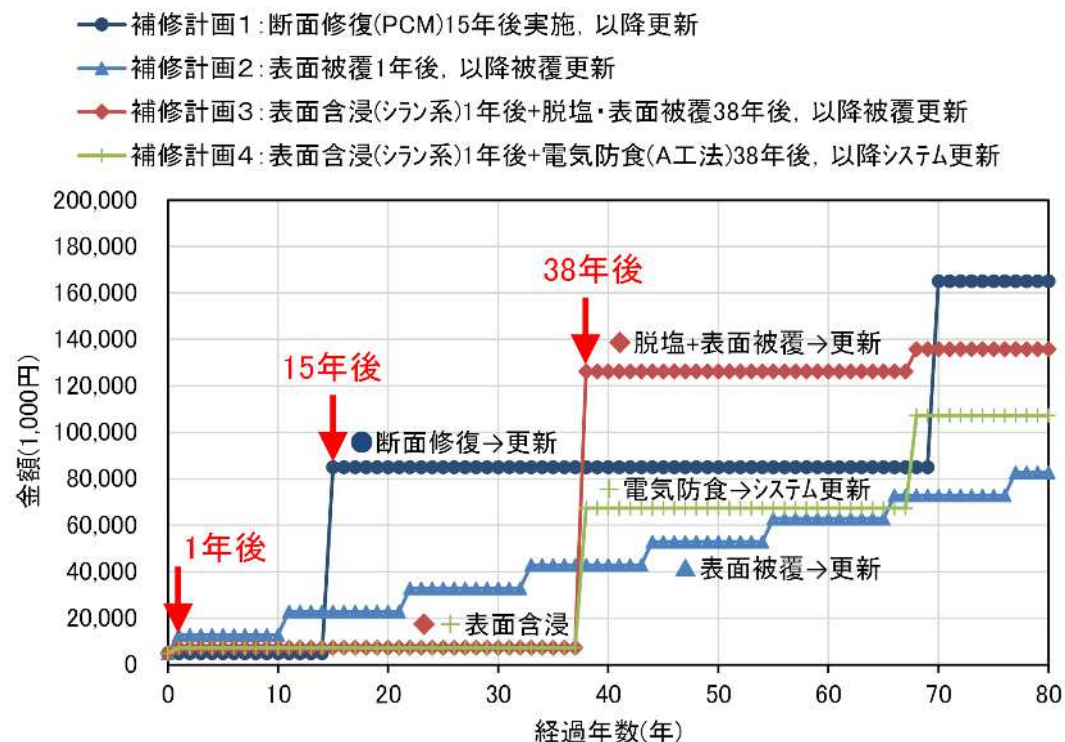
比較項目	予防保全	事後保全
基本的な考え方	悪くなる前に守る （劣化の未然防止・進行遅延）	悪くなってから直す （低下した性能の回復）
対象となる劣化過程	潜伏期 ～ 進展期	加速期 ～ 劣化期
外観の変状	なし、または極めて軽微	ひび割れ、浮き、剥落、錆汁などが顕在化
LCCのイメージ	1回あたりのコストは安く、長期的な総費用も抑えやすい	1回あたりのコストが非常に高く、総費用も増大しやすい

ライフサイクルコスト(LCC)

【コンクリート構造物のLCCとは】

- LCCとは、構造物の計画・建設から供用・維持管理、最終的な廃棄・更新までの全期間に要する費用の総額を指す。
- 単なる初期建設費の比較ではなく、「長寿命化」、「維持管理の効率化」を含めて、資産としての構造物を総合的に評価する指標。

LCC算定結果



30

維持管理のシナリオ（補修後の維持管理シナリオ）

【補修後の維持管理シナリオ】

対象構造物の供用期間を通じて実施される様々な措置や対策を総合的に勘案した維持管理の方針

【補修後の維持管理シナリオの例】

例1) 再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ

- ・当該構造物の変状に対し、**必要最低限**の安価な対策をまず講じる。ただし、最低限の対策では劣化の進行を根本的に抑制することは難しく、**再劣化の発生を許容**する方針となる。
- ・対策後は劣化進行を適切に経過観察し、再劣化が認められた場合には速やかに再補修を実施する。この**再劣化と再補修のサイクル**を構造物の残存供用年数の間、定期的に繰り返すことにより、構造物の耐久性を**一定水準以上に維持**することを目的とする。

例2) 再劣化を許容しない維持管理シナリオ

- ・当該構造物の変状に対し、**劣化原因を根本的に解決**する対策（塩害や中性化の場合は鉄筋腐食反応の停止、ASRの場合はアルカリシリカゲルの膨張性の消失など）を講じる。
- ・対策には比較的高額な費用を要するが、対策後は再劣化が基本的に発生しないため、構造物の耐久性低下を抑制でき、**再補修を想定する必要はない**。

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1: 予防保全～



[条件]

- ・道路橋RCけた
- ・海岸線から100m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**

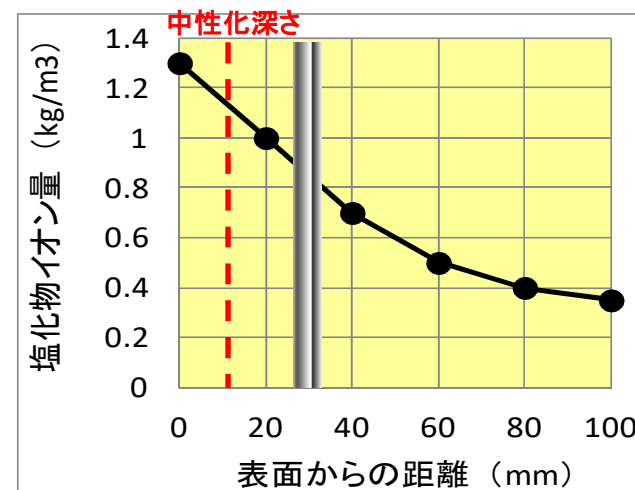
[着目点]

- ・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
- ・工学的判断と維持管理シナリオに応じて工法選定



塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1:予防保全～

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
⇒ まだ鉄筋が腐食する理由はない状態

【補修工法の主たる要求性能】

- ・劣化因子の遮断
⇒ 塩化物イオンを侵入させない(塩害の場合)

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1: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

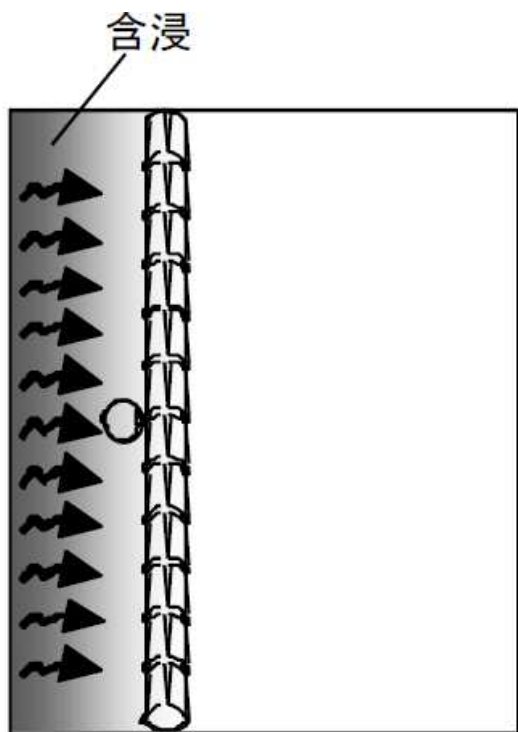
- ・健全な状態で当面は性能低下の懸念はない
- ・**劣化予測**にて腐食発生限界を超えるまでの期間に余裕がある場合
⇒ 点検強化、モニタリングによる継続的な状況把握が必須

(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劣化を顕在化させない

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1:予防保全～

潜伏期の予防保全でよく適用される補修工法



一般的な表面含浸工法

- ・シラン系含浸材 : 撥水効果付与
- ・けい酸塩系含浸材 : コンクリートの緻密化

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1: 予防保全～

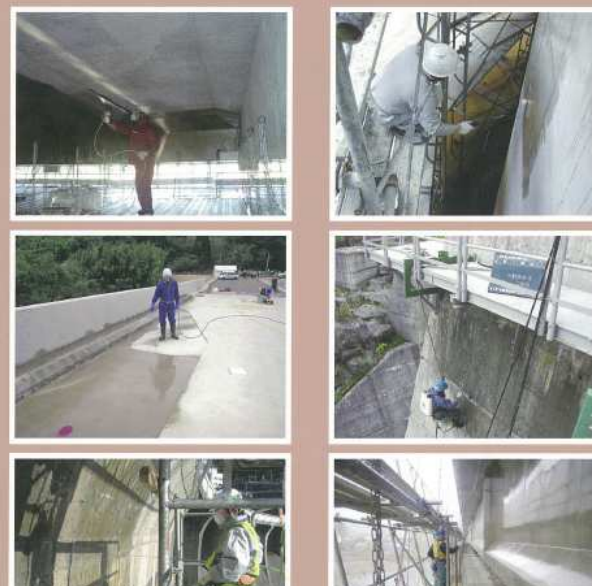
119 コンクリートライブラリー

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

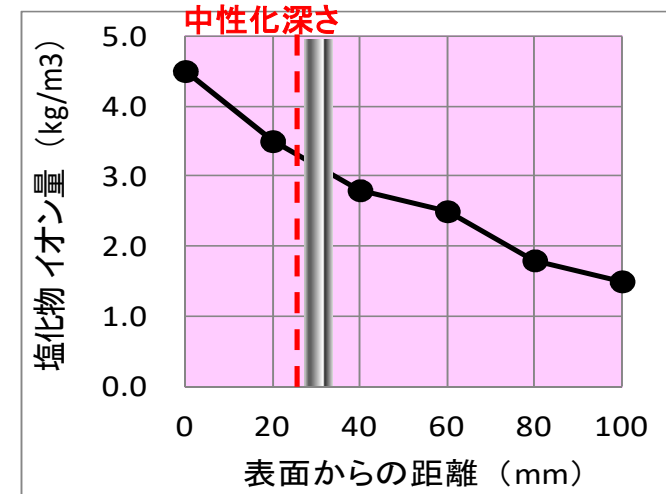
『本指針(案)では、けい酸塩系表面含浸工法が単独で適用できる範囲を、劣化過程が潜伏期までにある構造物を原則とした。』

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1:予防保全～

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
⇒ 変状は生じていないが、**鉄筋腐食は開始**

[補修工法の主たる要求性能]

- ・劣化因子の遮断(特に水、酸素)
- ・**鉄筋腐食の抑制**
⇒ 予防保全の段階であるが、劣化因子の遮断だけでは不十分

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1:予防保全～

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

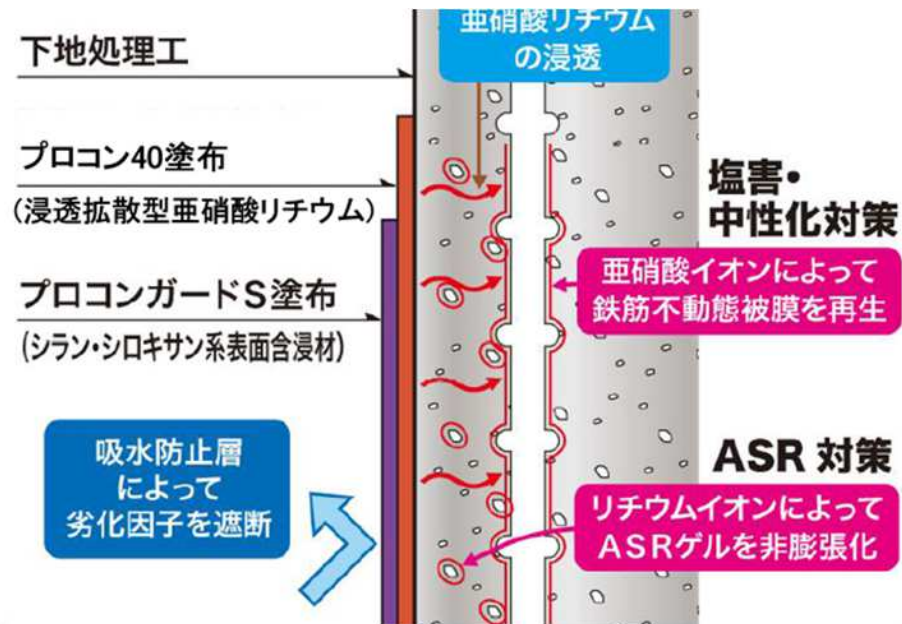
- ・現時点で変状が生じているわけではないため、しばらく様子を見る
- ・ただし鉄筋は腐食環境にあり、将来的には変状が生じることを想定
⇒ それほど長くは放置できない

(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
⇒ 既に不動態皮膜は破壊され、鉄筋腐食が開始しているため、
鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ材料、工法を選択するのも有効

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例1:予防保全～

進展期の予防保全でよく適用される補修工法



鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ表面含浸工法
・亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法
『プロンガードシステムS』

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～



[条件]

- ・海上部に位置するRC構造物
- ・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
- ・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

[着目点]

- ・変状の規模、鉄筋腐食の程度等を調査
- ・「加速期前期」または「加速期後期」を判別
- ・工学的判断と維持管理シナリオに応じて工法選定

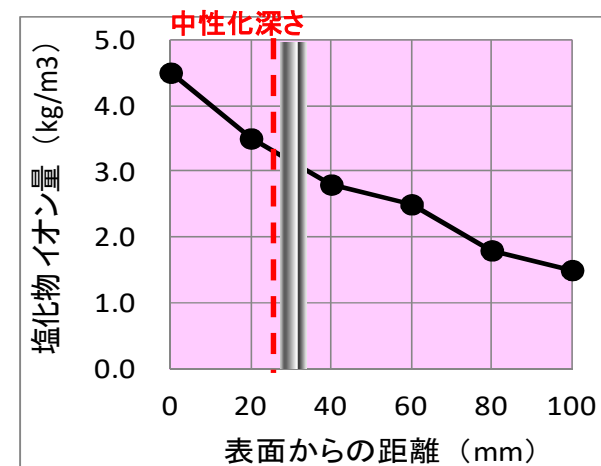


塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

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

⇒ ひび割れを通じた劣化因子の直接侵入により鉄筋腐食が加速

[補修工法の主たる要求性能]

- ・劣化因子の遮断(特に水、酸素)
- ・鉄筋腐食の抑制

⇒ 変状はまだ軽微であり、ひび割れも浮き剥離も増やしたくない

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

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)変状に応じた必要最小限の補修を定期的に行うシナリオ

- ・ひび割れ注入工、部分断面修復工、表面保護工による必要最小限の補修
- ・ただし、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

(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）
⇒ これらの工法により、再劣化のリスクを限りなく**低減**

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

「変状に応じた必要最小限の補修を定期的に行うシナリオ」で適用される補修工法



表面保護工(表面含浸工)



表面保護工(表面被覆工)



ひび割れ注入工



部分断面修復工

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

劣化過程が

【加速期後期】

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
 - ⇒ ひび割れや浮き剥離を通じ、腐食鉄筋への劣化因子の供給が増大
 - ⇒ 劣化速度がさらに加速し、変状の範囲拡大

[補修工法の主たる要求性能]

- ・鉄筋腐食の抑制
 - ⇒ これ以上の鉄筋断面減少は許容できない
 - ⇒ 劣化期への転落は何としても回避したい

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

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)変状に応じた必要最小限の補修を定期的に行うシナリオ

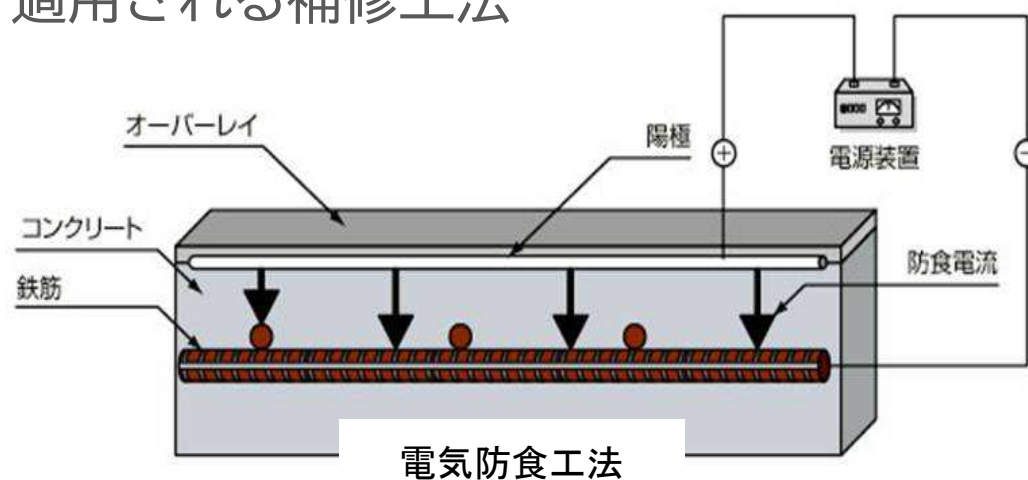
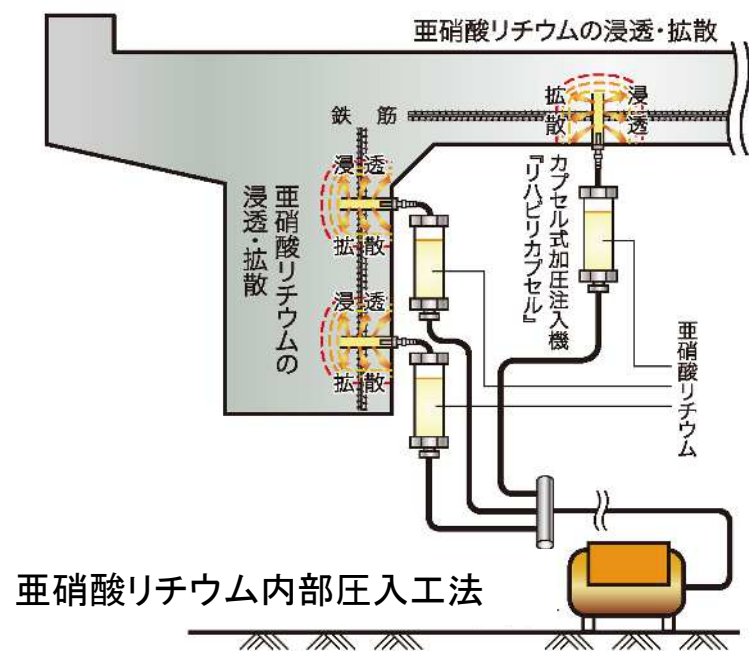
- ・ひび割れ注入、部分断面修復に加え、表面保護による必要最小限の補修
- ・ただし、これらの対策では鉄筋腐食の原因を完全に取り除いていない
- ・早いサイクルで再劣化を繰り返すとLCCで劣ると考えられる
⇒ 残存供用年数が少ない場合などでは適用されることもある

(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）
⇒ これらの工法により再劣化のリスクを限りなく低減
イニシャルでは高価となるがLCCでは優れる

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

「将来的な再劣化を許容しないシナリオ」で適用される補修工法



全断面修復工法

塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

劣化過程が

【劣化期】

の場合

[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
⇒ 耐久性能だけでなく耐荷性能も大きく低下

[補修工法の主たる要求性能]

- ・安全性の確保 ⇒ これに勝る要求性能なし

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

- ・安全性を確保する対策を早急に採る以外にシナリオはない
⇒ 補修だけでなく、補強、供用制限、撤去新設も検討



塩害の補修工法選定の考え方 ～事例2:事後保全～

劣化期の構造物で補修工法と併用される補強工法の例

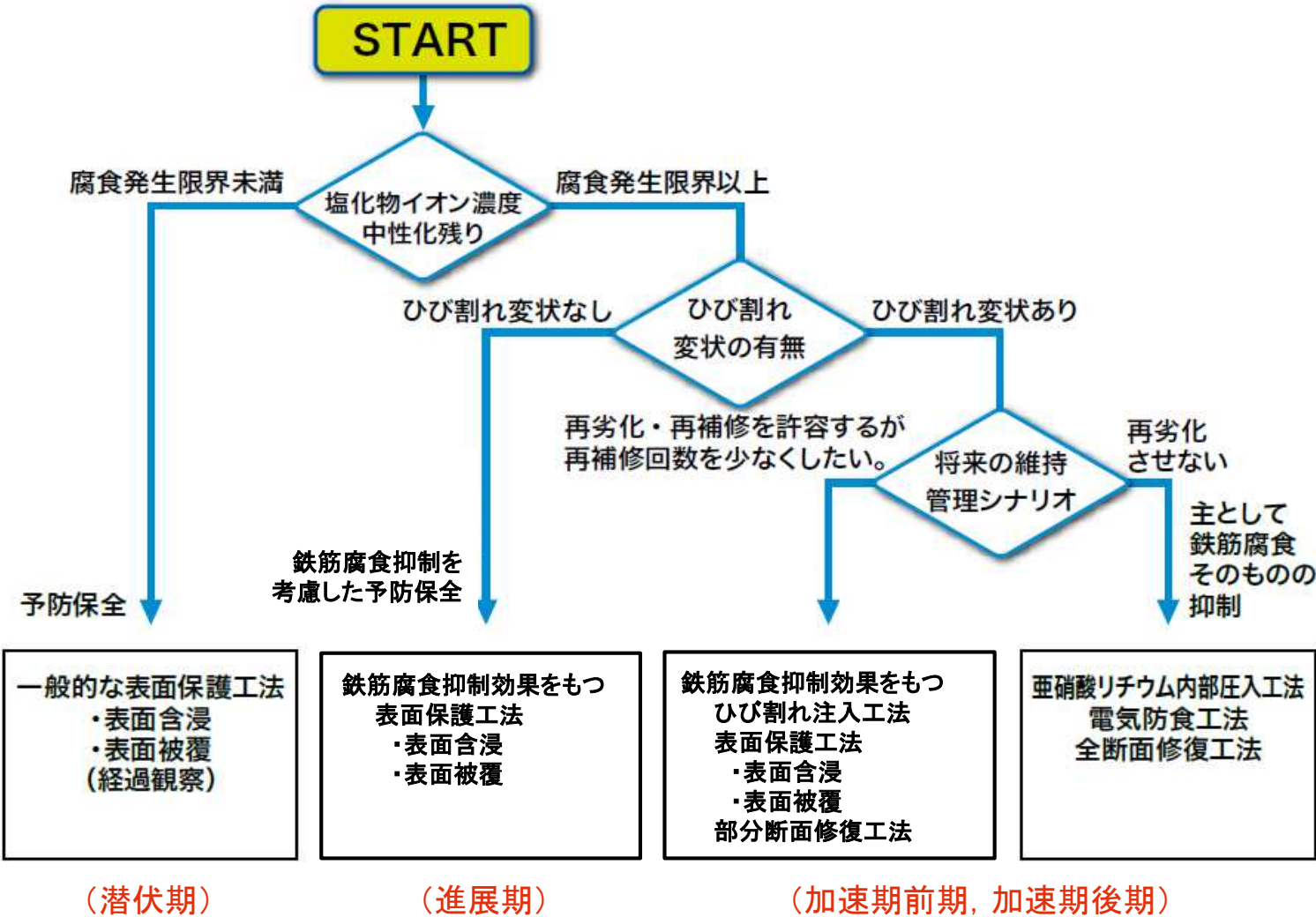


鋼板接着工法



連続繊維シート接着工法

塩害の補修工法選定フロー



ASRの補修工法選定の考え方 ～事例3:事後保全～



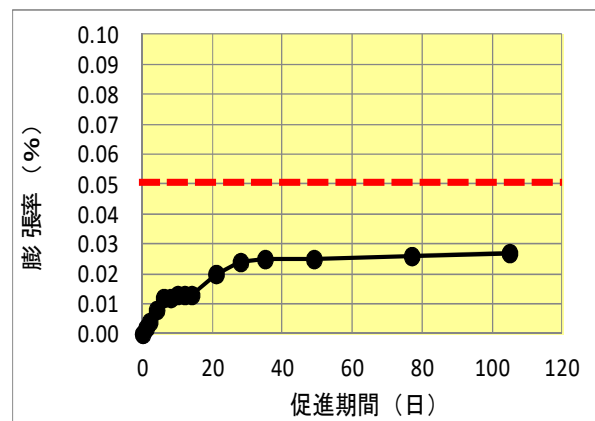
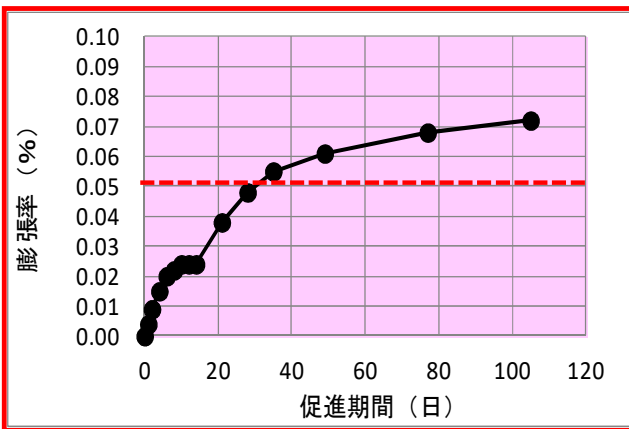
[条件]

- ・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

[着目点]

- ・ASR膨張性を評価し、将来的な膨張進行の有無を評価
⇒ 促進養生試験、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

ASRの補修工法選定の考え方 ～事例3:事後保全～



[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外観調査
- ・コア採取による促進養生試験

将来的なASR膨張性は有害か無害か？

[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させる（ゲルの非膨張化）
- ⇒ 今後もASR膨張が進行することを前提とした対策

ASRの補修工法選定の考え方 ～事例3:事後保全～

ASR膨張性が【有害】の場合

[維持管理シナリオに応じた補修工法の選定]

(1)変状に応じた必要最小限の補修を定期的に行うシナリオ

- ・ひび割れ注入工、表面保護工による必要最小限の補修
- ・ASR膨張性が有害であり、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し、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）
 - ⇒ この工法を適用すれば、再劣化のリスクを低減できる
 - ASR補修と同時に鉄筋腐食抑制効果も付与される
 - イニシャルでは高価となるがLCCでは優れる場合が多い

ASRの補修工法選定の考え方 ～事例3:事後保全～

「変状に応じた必要最小限の補修を定期的に行うシナリオ」で適用される補修工法



表面保護工(表面含浸工)



表面保護工(表面被覆工)



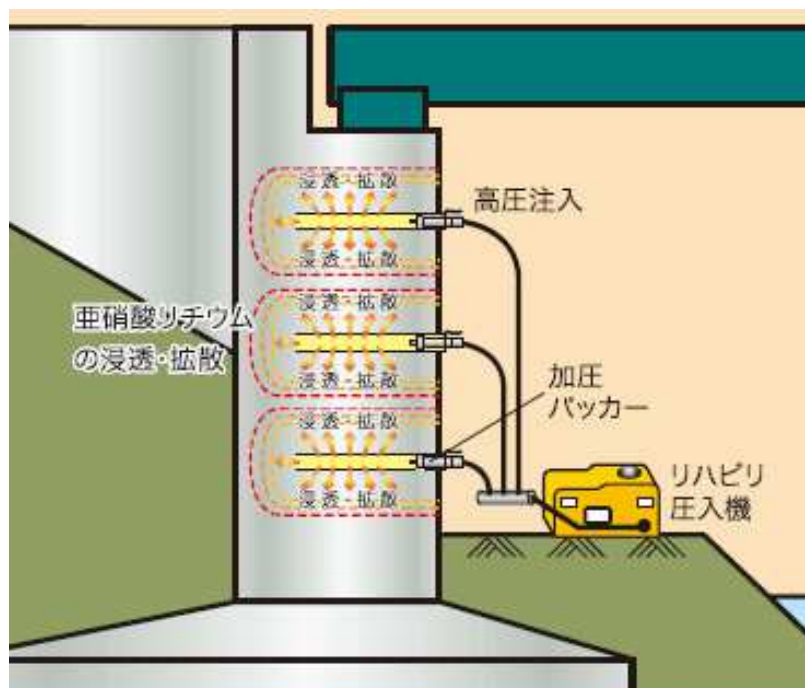
ひび割れ注入工



部分断面修復工

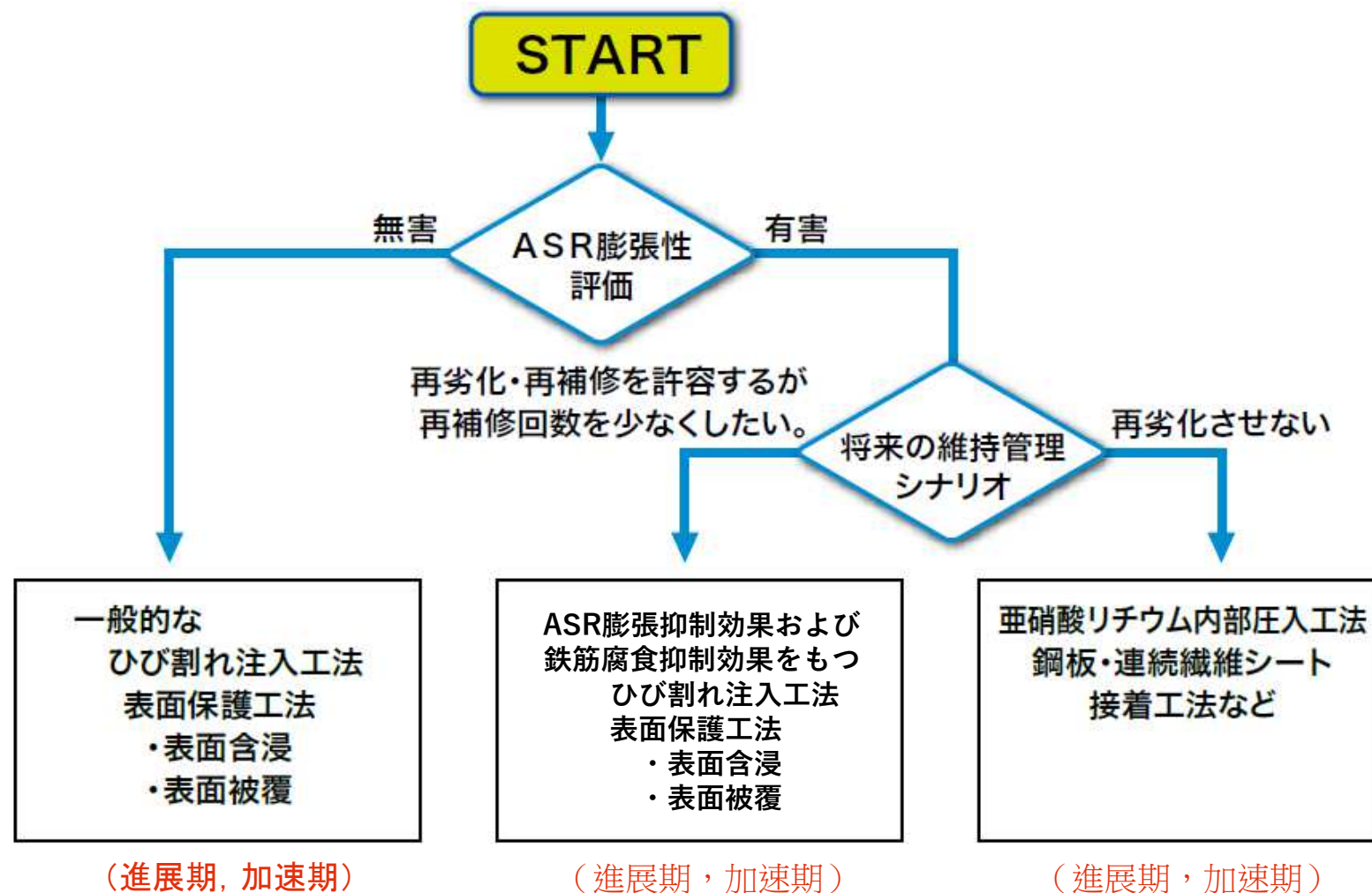
ASRの補修工法選定の考え方 ～事例3:事後保全～

「将来的な再劣化を許容しないシナリオ」で適用される補修工法



亜硝酸リチウム内部圧入工法

ASRの補修工法選定フロー



2.3 橋梁延命化シナリオ研究会の 取り組み



一般社団法人 橋梁延命化シナリオ研究会

代表理事 宮川豊章(京都大学 名誉教授)



代表理事 宮川豊章

一般社団法人橋梁延命化シナリオ研究会は、**既設橋の延命化に資する技術の研究及び普及等に関する事業**を行い、もって都市再生と地域連携による経済活力の回復に貢献し、国民生活の質の向上、安全で安心できる暮らしの確保、環境の保全・創造に寄与することを目的として**2014年(平成26年)3月**に設立されました。

2003年(平成15年)～2013年(平成25年)に実施された、**産学官連携プロジェクト「橋梁の延命化シナリオの策定等に関する研究プロジェクト」**(プロジェクトリーダー;宮川豊章、新都市社会技術融合創造研究会内に設置)を通じて獲得した成果(**ソフト「橋の匠」**等)の発展的な維持更新および機能向上を進めるとともに、普及・振興を図る団体です。

構成

・産官学55団体・企業 70名

最適延命化方策選定システム『橋の匠』



【『橋の匠』のコンセプト】

●『橋の匠』はデジタル参考書

- ⇒維持管理業務の支援用に
- ⇒維持管理の各種シミュレーションに
- ⇒維持管理分野の自己啓発、学習用に

●最適調査方法の選定

- ⇒劣化要因、劣化グレード、劣化速度、将来予測、耐荷性能
- ⇒1次調査(概略調査方法)
- ⇒2次調査(詳細調査方法)、診断

●最適対策工法の選定

- ⇒診断結果に対する最適対策工法を選定
- ⇒維持管理シナリオを考慮
- ⇒LCC(概略)の算定

最適延命化方策選定システム『橋の匠』



【『橋の匠』で扱う対象範囲】

●コンクリート構造

⇒塩害、中性化、ASR、凍害、化学的侵食、疲労
⇒初期欠陥、PC特有の変状

●鋼構造

⇒疲労亀裂、鋼材腐食、ボルト遅れ破壊

●支承構造

⇒鋼製支承、ゴム支承



最適延命化方策選定システム『橋の匠』

最適延命化方策支援システムのプログラム構成

最適調査方法選定プログラム

劣化要因・劣化グレード・劣化速度・耐荷性能について、調べるための「最適調査方法」を合理的に選定します。また、調査結果データが手元にある場合、調査結果に照らして、適切な劣化状態を推定します。

～コンクリート構造物～

「中性化」「塩害」「ASR」などのほか、PC構造特有の劣化についても取り扱います。



～鋼構造物～

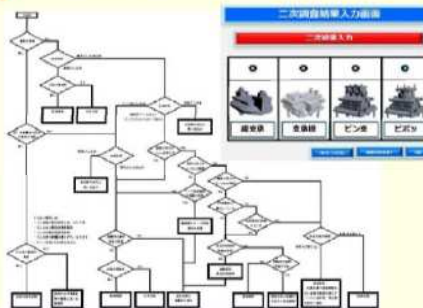
鋼構造物では、耐荷性能に大きく影響を及ぼす代表的な損傷である「腐食」「疲労」「ボルトの遅れ破壊」について、取り扱います。



シナリオの構築、構造物の評価、最適調査方法の選定、最適対策工法の選定までを支援

支承構造の維持・更新に関するプログラム

支承構造(ゴム支承・鋼製支承とも)・支承機能の劣化に関しても、要因の推定・対策工法について同様の対応ができるようプログラム開発中です。



最適対策工法選定プログラム

抽出された劣化の種類に対して、「最適対策工法」を合理的に選定します。また、選定した対策工法の特長や適用範囲の確認、新工法・新技術の積極的利用に向けた情報入手が可能です。

～コンクリート構造物～

「最適対策工法」の選定のほか、ライフサイクルコストや維持管理シナリオを考慮して、最適案まで踏み込んで提案します。



～鋼構造物～

鋼構造物についても、コンクリート構造物と同様に、「最適対策工法」を選定します。



最適延命化方策選定システム『橋の匠』

【ソフト『橋の匠』の使用方法】

- ・ご利用には事前のユーザー登録が必要です。
- ・下記サイトよりお申込み下さい。

URL <https://bridge-scenario.or.jp/>



まとめ

まとめ

- 塩害 塩化物イオンの作用により鉄筋の不動態皮膜が破壊され、そこに水と酸素が供給されることにより鉄筋が腐食
- 中性化 二酸化炭素の作用により鉄筋の不動態皮膜が破壊され、そこに水と酸素が供給されることにより鉄筋が腐食
- ASR アルカリシリカゲルの吸水膨張作用により、コンクリートが膨張
- 凍害 水分の凍結融解作用の繰り返しによりコンクリートが脆弱化
- 硫酸劣化 硫化水素から生成された硫酸の作用によりコンクリートが化学的に腐食し、硬化体が組織崩壊して脆弱化
- 疲労 輪荷重の繰り返し作用と水分の侵入によりコンクリートのひび割れが進展し、最終的に押し抜きせん断破壊に至る



『劣化機構を理解したうえで、補修工法の要求性能を見極める』
『維持管理シナリオを考慮して総合的に補修工法を選定する』

まとめ

コンクリート構造物の維持管理の考え方

工学的な 判断

- ・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
 - ⇒ なぜ劣化が生じているのか？
 - ⇒ その劣化の補修に対してどんな性能が必要？

時間軸の 判断

- ・補修した後の維持管理シナリオ(方針)を考慮して補修工法を選定
 - ⇒ 補修後も劣化は進行していく
 - ⇒ 今後どのように維持管理していく方針なのか？



これらを総合的に判断して

『適切な維持管理にて構造物の健康寿命を延ばす』

告知 1

「予防保全を目的とした鉄筋コンクリート構造物の点検方法に関する研究委員会」
報告会（対面形式）
—参加募集—

開催日：2026年9月15日（火）
申込締切：2026年9月6日（日）

主催：公益社団法人 日本コンクリート工学会
後援：土木学会，日本材料学会，コンクリートメンテナ
（予定）ンス協会，日本建築学会，日本非破壊検査協会

- 1. 開催日時：2026年9月15日（火）13：00-17：00
- 2. 開催場所：きゅりあん 品川区立総合区民会館 小ホール（東京都品川区東大井5丁目18-1）
- 3. プログラム（予定）：
 - 13:00 開会
 - 13:00～13:05 開会挨拶、趣旨説明
 - 13:05～14:30 パネルディスカッション：「予防保全のための点検の実態と課題」
 - 14:30～14:40 <休憩>
 - 14:40～15:20 委員会報告①：「構造物の予防保全のための中性化の点検方法」
 - 15:20～16:00 委員会報告②：「構造物の予防保全のための塩害の点検方法」
 - 16:00～16:10 <休憩>
 - 16:10～16:50 委員会報告③：「構造物の予防保全のための鉄筋腐食の点検方法」
 - 16:50～17:00 まとめ、講評、閉会挨拶

4. 参加費：消費税込み，配布資料含む

正会員（個人）	8,500 円
名誉会員・終身会員・フェロー会員	5,000 円
学生会員 ^{※1}	5,000 円
正体会員 ^{※2} 後援団体 ^{※3}	9,500 円
一般非会員	10,000 円
学生非会員 ^{※1}	5,500 円

詳細情報・お申込み方法は、JCI「コンクリート工学」最新刊をご確認ください。

告知 1

予防保全を目的とした鉄筋コンクリート構造物の点検方法に関する研究委員会 報告書

目次(案)

- 1 はじめに
- 2章 構造物の予防保全のための点検の実態と課題
 - 2.1 予防保全の考え方と点検の位置づけ
 - 2.2 各機関における予防保全のための点検の考え方
 - 2.3 本委員会における予防保全のための点検の検討対象
- 3章 構造物の予防保全のための中性化の点検方法
 - 3.1 中性化の点検方法に関する検討内容
 - 3.2 中性化の点検に関する試験方法および技術規準
 - 3.3 中性化の進行要因に関する調査
 - 3.4 中性化の点検の考え方の提案
- 4章 構造物の予防保全のための塩害の点検方法
 - 4.1 はじめに
 - 4.2 塩化物イオン濃度の点検の実態
 - 4.3 塩化物イオンの供給環境に関する調査研究
 - 4.4 塩化物イオンの浸透に及ぼす各種作用に関する調査研究
 - 4.5 塩化物イオン濃度の簡易な測定方法に関する調査研究
 - 4.6 塩化物イオン濃度の点検の考え方の提案
- 5章 構造物の予防保全のための鉄筋腐食の点検方法
 - 5.1 はじめに
 - 5.2 鉄筋腐食の点検に関する試験方法および技術規準
 - 5.3 鉄筋腐食に関する最近の調査研究
 - 5.4 鉄筋腐食の点検の考え方の提案
- 6章 まとめ

告知 2

日経 **CONSTRUCTION** 日経 **アーキテクチャー** 日経 **XTECH**

記述式に特化したオリジナルカリキュラム

コンクリート診断士

完全攻略コース

サービス
提供期間

2026年
2月～7月

過去問題 重要キーワード解説書籍 を2冊ご提供

論文添削指導 による充実の学習支援。択一式対策にも役立つ。

インフラ構造物の維持管理に欠かせない技術者が取得を目指す資格の一つである「コンクリート診断士」。その大きな関門である記述式問題に特化したコースです。動画講義では、試験でよく出題される技術分野の説明、論文の骨子の作り方、論文記述のテクニックを収録しています。さらに、模擬問題の論文添削もご提供。合格率15%の難関資格の突破を後押しします。

講師 **十河茂幸** (近未来コンクリート研究会 代表)
江良和徳 (コンクリートメンテナンス協会 専務理事)

詳細、お問い合わせはこちらから https://nkb.jp/sikaku_2506c

▶ 動画講義

試験頻出の技術分野を解説！
論文記述のテクニックを伝授します。

収録内容

- 塩害 ○中性化 ○アルカリシリカ反応
- 凍害 ○化学的浸食 ○RC床版の疲労
- 複合劣化 ○火害 ○施工時に生じる変状

- 模擬問題1 (塩害+中性化)
- 模擬問題2 (ASR)

- 模擬問題3 ○模擬問題4
- 文章作成のテクニック
- 記述式問題攻略のキーワード

■ 動画講義 (約350分) + PDFテキスト

期間中は繰り返し
視聴可能!



添削
対象



▶ 記述式問題 添削指導

記述式の
模擬問題2つを
個別添削指導！
記述の型を
作り上げる！



記述式模擬問題(土木分野)2つの添削指導が受けられます。

添削は各1回ずつの計2回で、提出いただいた記述式問題について添削結果をPDFでお戻しします。

添削指導のポイント

模擬問題1,2の
添削指導が
各1回ずつ受けられる!

添削フローは全て
オンラインで完結!

OK解答、NG解答の
ポイントが分かる!

ご清聴ありがとうございました



一般社団法人

コンクリートメンテナンス協会

<https://www.j-cma.jp/>

END

68