

『コンクリートの劣化と 補修工法選定の考え方』

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

技術委員長 江良和徳

1

本日の主な内容

はじめに

1. コンクリート構造物の主な劣化

塩害
中性化
アルカリシリカ反応 (ASR)

2. 劣化要因に応じた補修工法選定の考え方

各劣化に対する補修工法
よくみる補修設計の事例(これで十分か?)
補修工法選定の考え方

3. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法

亜硝酸リチウムとは
亜硝酸リチウムを用いた塩害・中性化・ASRの補修

おわりに

2

はじめに

3

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

著しく劣化したコンクリート構造物の急増



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

4

橋梁長寿命化修繕計画

【背景】

- ・従来は損傷が顕在化した後に対策を行う事後保全型の補修
- ・今後は高齢化した橋梁が急速に増加するため、
 - ①致命的な損傷が発生する危険性が高まる
 - ②従来の事後保全型では維持管理コスト等が膨大となる

【長寿命化修繕計画の目的】

- ・構造物の安全性・信頼性を確保していくため、
 - ①定期点検により橋梁の状態を把握し
 - ②損傷が顕在化する前の軽微な段階で予防保全的な補修
 - ③計画的な架替えを着実に進める
- ・橋梁の長寿命化と橋梁の修繕・架替えに係る費用の縮減

橋梁長寿命化修繕計画の思想に沿った維持管理を！

5

劣化した構造物に対する適切な対処

・コンクリートに生じた変状は、全てに原因がある

- ⇒ その原因に応じて
- ⇒ その劣化度に応じて
- ⇒ 対象構造物の立地・環境条件に応じて
- ⇒ 対象構造物の維持管理シナリオに応じて

各補修工法に要求される
性能や対策方針が異なる

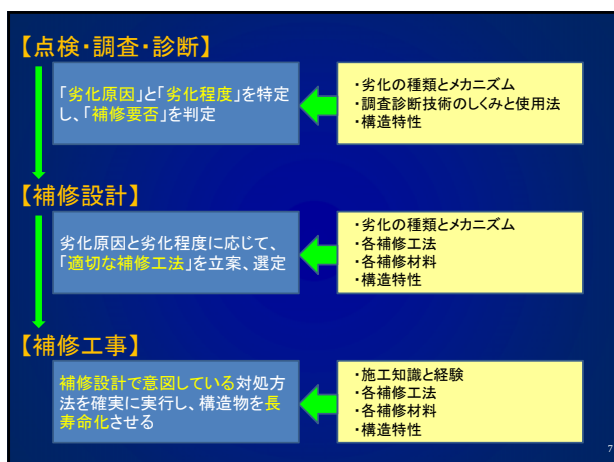
・例えば塩害補修の場合、以下のような補修工法が考えられる

表面含浸工、表面被覆工
断面修復工
脱塩工
電気防食工
防錆効果のある補修材の活用 など

・しかし、これらの工法はすべて要求性能が異なるため、一律で比較できない

個々の状況に応じて最適な補修技術・補修材料を選定

6



技術資料 P.3~

1. コンクリート構造物の主な劣化

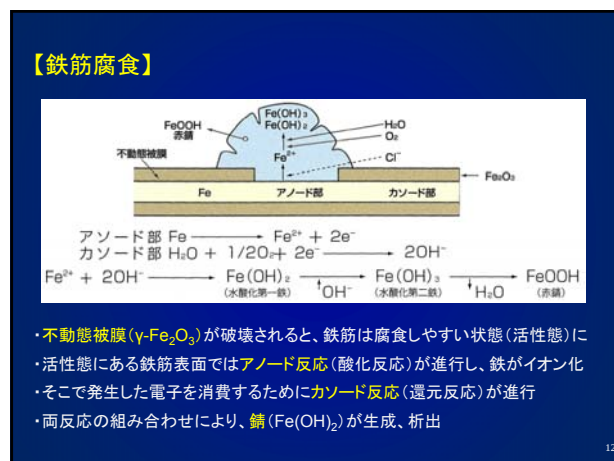


【塩害】とは

- 種々の原因で塩分がコンクリート中に浸入し、塩化物イオンとしてコンクリート表面からコンクリート内部へ浸透し、鉄筋位置に到達
- 鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量を超えると、鉄筋の不動態被膜が破壊され、鉄筋腐食が生じる
- 鉄筋が腐食するとコンクリートにひび割れ、はく離が生じる
- ひび割れ、はく離箇所を通じて塩化物イオン、水、酸素の侵入が容易となり、鉄筋腐食がさらに加速する

留意点

- 塩害において、『塩化物イオン』は鉄筋腐食のトリガー
- 鉄筋腐食が開始した時点で、劣化を進行させる因子は『塩化物イオン』⇒『水と酸素』にかわる



- 不動態被膜 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) が破壊されると、鉄筋は腐食しやすい状態 (活性態) に
- 活性態にある鉄筋表面ではアノード反応 (酸化反応) が進行し、鉄がイオン化
- そこで発生した電子を消費するためにカソード反応 (還元反応) が進行
- 両反応の組み合わせにより、錆 ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) が生成、析出

【塩害】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化要因は塩害なのか？】

- ・環境条件の確認（沿岸地域、凍結防止剤散布地域）
- ・外観目視調査（ひび割れパターン、錆汁の有無、コンクリートの浮き・はく離）
- ・塩化物イオン含有量試験
⇒ コンクリート表面から深さ方向の塩化物イオン量の分布を測定すると効果的・・・（内在塩分？ 外来塩分？）

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査（外観上の劣化グレード）
- ・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査、自然電位法）

【③将来的な塩害の劣化予測】

- ・塩化物イオン拡散予測（Fickの拡散方程式）

13

【③将来的な塩害の劣化予測】

- ・塩化物イオン拡散予測（Fickの拡散方程式）

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right) + C \quad (4.1)$$

ここで、 $C(x, t)$ ：表面からの深さ x (cm)の時刻 t (s)における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)、

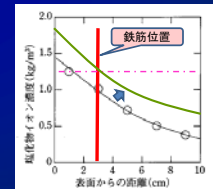
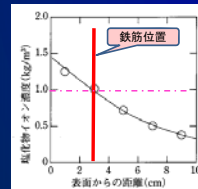
C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)、

C ：コンクリート材料に当初から含まれていたと考えられる塩化物イオン濃度 (kg/m^3)、

D ：コンクリート中で塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm^2/s)

$\operatorname{erf}()$ ：誤差関数。

『あと何年後に鉄筋位置の塩分量が腐食限界を超えるか』を算出する



14

2.2 中性化

技術資料 P.11～P.12



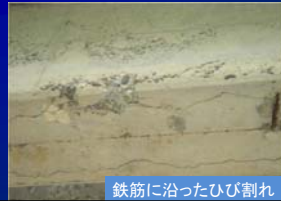
はく離・はく落



鉄筋露出



鉄筋露出



鉄筋に沿ったひび割れ

15

【中性化】とは

- ・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、炭酸カルシウムを生成 (炭酸化)
- ・その結果、コンクリート中のpHが低下 (pH=11以下) する
- ・中性化が鉄筋付近 (中性化残り10mm) まで到達すると、鋼材の不動態被膜が破壊され、鉄筋が腐食する
- ・鋼材が腐食するとコンクリートにひび割れ、はく離が生じる

留意点

- ・中性化において、『中性化領域』は鉄筋腐食のトリガー
- ・鉄筋腐食が開始した時点で、劣化を進行させる因子は『二酸化炭素』⇒『水と酸素』にかわる

16

【中性化】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化要因は中性化なのか？】

- ・外観目視調査（ひび割れパターン、錆汁の有無、コンクリートの浮き・はく離）
- ・環境条件の確認（沿岸地域、凍結防止剤散布地域でないか？）
- ・中性化深さ試験（フェノールフタレイン法）
⇒フェノールフタレイン溶液を噴霧したときの非発色部を中性化領域と判定する (劣化予測にも活用)

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査（外観上の劣化グレード）
- ・鉄筋腐食度調査（はつりによる目視調査、自然電位法）

【③将来的な中性化の劣化予測】

- ・中性化進行予測（√t法）

17

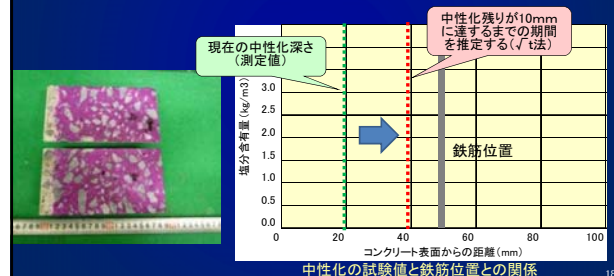
【③将来的な中性化の劣化予測】

- ・√t法による劣化予測

⇒フェノールフタレイン法により、現在の中性化深さを測定

⇒竣工後の経過年数と現時点での中性化深さから、

『中性化残りが10mmに達するまでの期間』を予測する



18

2. 3 アルカリシリカ反応(ASR)

技術資料 P.17～P.20



亀甲状ひび割れ



水平方向ひび割れ



白色ゲル



PC鋼材に沿ったひび割れ

19

【ASR】とは

技術資料 P.17～P.20

- ・コンクリート中は**高アルカリ**環境(pH=12以上)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
- ・コンクリートの粗骨材として、アルカリ、水と反応して膨張する性質の**反応性骨材**が使用されることがある



- ・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が**水分を吸収して膨張**することにより、コンクリートにひび割れが生じる

20

【アルカリシリカゲルの膨張】

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

21

【ASRによる鉄筋破断】



【ASRによる鉄筋破断メカニズム】

- ・曲げ加工部の加工硬化による脆化
- ・ひずみ時効による脆化の進行
- ・水素脆化による割れ
- ・ASR膨張による鉄筋の曲げ戻し力



22

【ASRによる再劣化事例】



橋台の再劣化事例

- ・橋台や擁壁の背面は土砂に接しており、背面を被覆することができない
- ・水分浸入を完全に遮断することが困難



橋脚はり部の再劣化事例

- ・橋脚はり部には、伸縮継手を通じて橋面からの排水が流れ込む。
- ・しかし、はり先端は桁や支承、アンカーバーなどがあり、十分な被覆作業が困難
- ・水分浸入を完全に遮断することが困難

23

【ASR】による劣化の診断 3つの着目点

【①劣化要因はASRなのか？】

- ・外観目視調査 (ひび割れパターン、白色ゲル析出など)
- ・コア観察 (ASRゲル、反応リム、骨材の割れ)
- ・岩種判定 (偏光顕微鏡観察、X線回折分析)
- ・アルカリシリカゲルの観察 (化学分析、SEM観察)
- ・アルカリ総量試験 (ASRの可能性の有無)

【②現時点での劣化程度はどれくらいか？】

- ・外観目視調査 (外観上の劣化グレード)
- ・圧縮強度試験、静弾性係数試験、超音波伝播速度 (ASRにより低下)

【③将来的なASRの劣化予測】

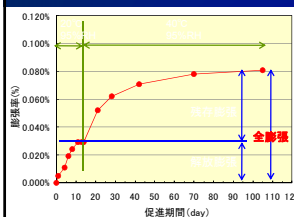
- ・残存膨張量試験 (JCI-DD2法、カナダ法など)
- ・外観目視調査 (数年の間でひび割れ幅や密度が増大。再劣化。)

24

【③将来的なASRの劣化予測】

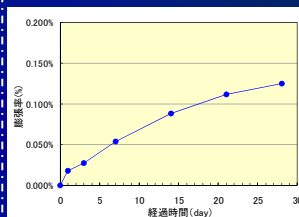
・残存膨張量試験（以後のASR膨張の可能性を定量的に評価）

『JCI-DD2法』



- ・環境：40℃, 95%RH
- ・期間：3ヵ月
- ・判定例：0.05%以上を有害(全膨張)
- ・課題：遅延膨張性の骨材などでは過小評価となる場合あり

『カナダ法』



- ・環境：80℃, 1N NaOH溶液浸漬
- ・期間：21日(または14日)
- ・判定例：0.1%以上を有害
- ・課題：強制膨張試験のため、過大評価となる場合あり

25

2. 劣化要因に応じた補修工法選定の考え方

26

2.1 塩害の補修工法選定の考え方

技術資料 P.5~P.10
P.31~P.33

【塩害】補修工法の種類と要求性能

①劣化因子の遮断

(外部からの塩化物イオン、水、酸素の侵入を低減する)

【表面被覆工法】

【表面含浸工法】

【ひび割れ注入工法】

②劣化因子の除去

(塩化物イオンをコンクリート内から除去する)

【断面修復工法】

【脱塩工法】

③鉄筋腐食の抑制

(既に腐食が進行している鉄筋を防錆する)

【電気防食工法】

【鉄筋防錆材(亜硝酸リチウム)の活用】

27

①劣化因子の遮断



表面被覆工法



表面含浸工法



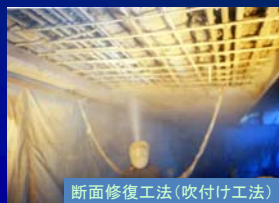
ひび割れ注入工法

28

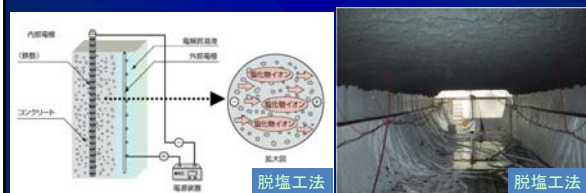
②劣化因子の除去



断面修復工法(左官工法)



断面修復工法(吹付け工法)

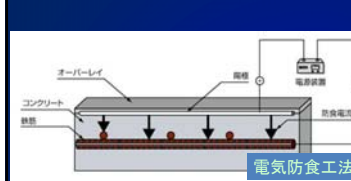


脱塩工法

脱塩工法

29

③鉄筋腐食の抑制



電気防食工法



電気防食工法



防錆材(亜硝酸リチウム)の活用

防錆材(亜硝酸リチウム)の活用

30

【塩害】 調査診断から補修設計までの流れ

【調査・診断段階】

- ①外観変状調査
 - …ひび割れ、浮き・はく離、鉄筋露出、鉄筋腐食度
- ②コア採取～室内試験
 - …塩化物イオン濃度、圧縮強度、(中性化深さ)
- ③診断
 - …腐食発生限界濃度、(中性化残り)

【補修設計段階】

- ①補修工法の比較検討
 - …3～5種類の塩害対策工法による比較表作成
- ②最終成果品
 - …図面、数量、工事費など

31

よくみる調査補修設計の事例1(塩害) ～これで十分か？

【調査・診断段階】

鉄筋位置の塩分濃度が腐食発生限界を大幅に超えており、鉄筋腐食、ひび割れ、錆汁が見られていることから、劣化原因を塩害と判定する。



【補修設計段階】

塩害の補修工法として下記の5工法の比較表を作成

- 第1案 表面含浸・被覆工法
 - 第2案 断面修復工法
 - 第3案 脱塩工法
 - 第4案 電気防食工法
 - 第5案 防錆材(亜硝酸リチウム)内部圧入工法
- 経済性を含む総合評価の結果、第○案を採用

調査した内容と、比較検討する補修工法の要求性能は合致していますか？

2

【塩害】 劣化状況・程度に応じた補修工法選定の考え方の例

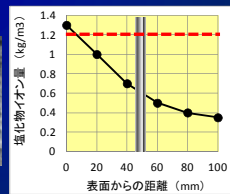
状況① 【鉄筋腐食度は小さく、塩分量も少ない】

- ・本構造物の環境では、塩害の進行が比較的緩やか
- ・以後の塩分浸入を抑制することで鉄筋腐食を防ぐことが可能となる

- 表面含浸・被覆工法 (以後の劣化因子を遮断)
- × 断面修復工法 (除去すべき劣化因子が少ない)
- × 脱塩工法(除去すべき劣化因子が少ない)
- 電気防食工法 (無意味ではないが過大)
- × 亜硝酸リチウム内部圧入 (無意味ではないが過大)



注意:○△×の評価はあくまで考え方の例です



33

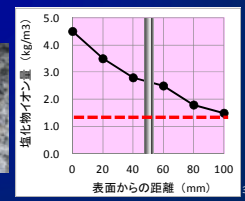
状況② 【鉄筋腐食度は小さいが、塩分量は多い】

- ・既に侵入済みの塩分によって鉄筋腐食がこれから顕在化する可能性大

- 表面含浸・被覆工法 (水分と酸素を十分に遮断できれば)
- △ 断面修復工法 (劣化因子を除去するが健全なコンクリートを痛める)
- 脱塩工法 (鉄筋腐食の開始前に劣化因子を除去)
- △ 電気防食工法 (塩分存在下でも鉄筋を腐食させないが、過大)
- △ 亜硝酸リチウム内部圧入 (塩分存在下でも鉄筋を腐食させない)



注意:○△×の評価はあくまで考え方の例です



34

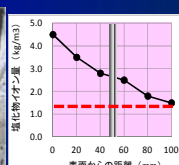
状況③ 【鉄筋腐食度が大きい、かぶりコンクリートは比較的健全】

- ・既に鉄筋腐食が著しく進行しているため、この段階で劣化因子(塩分)を遮断するのみでは不十分(手遅れ)
- ・鉄筋腐食を抑制する工法を選定しないと、早期に再劣化

- × 表面含浸・被覆工法 (以後の劣化因子の遮断だけでは手遅れ)
- △ 断面修復工法 (劣化因子を除去するが健全なコンクリートを痛める)
- × 脱塩工法 (ここで劣化因子を除去しても手遅れ)
- 電気防食工法 (塩分存在下でも鉄筋を腐食させない)
- 亜硝酸リチウム内部圧入 (塩分存在下でも鉄筋を腐食させない)



注意:○△×の評価はあくまで考え方の例です



35

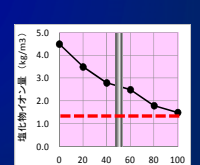
状況④ 【鉄筋腐食度が大きく、かぶりコンクリートも脆弱】

- ・鉄筋腐食が著しく、浮き・はく離が生じている状態なので、断面修復は必須
- ・断面修復だけで十分か、他工法と併用すべきかを検討

- 表面含浸・被覆工法 + 断面修復
- 断面修復工法のみ
- × 脱塩工法 + 断面修復
- 電気防食工法 + 断面修復
- 亜硝酸リチウムと断面修復との併用



注意:○△×の評価はあくまで考え方の例です



36

【塩害】維持管理シナリオに応じた補修工法選定の考え方の例

状況②【鉄筋腐食度は小さいが、塩分量は多い】を例にとって

- ・既に侵入済みの塩分によって鉄筋腐食がこれから顕在化する可能性大
- ・構造物の立地、環境条件を考慮した維持管理シナリオ

『標準』

- 表面含浸・被覆工法（以後の劣化因子遮断では不十分）
- △ 断面修復工法（劣化因子を除去するが健全なコンクリートを痛める）
- 脱塩工法（鉄筋腐食の開始前に劣化因子を除去）
- △ 電気防食工法（塩分存在下でも鉄筋を腐食させないが、過大）
- 亜硝酸リチウム内部圧入（塩分存在下でも鉄筋を腐食させない）

『再補修作業が容易な立地条件であり、再劣化のたびに速やかに再補修を行う』

- 表面含浸・被覆工法（イニシャルコストの経済性優先）
- × 断面修復工法
- × 脱塩工法
- × 電気防食工法
- △ 亜硝酸リチウム内部圧入

注意：○△×の評価はあくまで考え方の例です

37

2. 2 中性化の補修工法選定の考え方

技術資料 P.11～P.16
P.31～P.33

【中性化】補修工法の種類と要求性能

①劣化因子の遮断

（外部からの二酸化炭素、水、酸素の侵入を低減する）

- 【表面被覆工法】
- 【表面含浸工法】
- 【ひび割れ注入工法】

②劣化因子の除去

（既に中性化したコンクリートのアルカリ性を回復）

- 【断面修復工法】
- 【再アルカリ化工法】

③鉄筋腐食の抑制

（既に腐食が進行している鉄筋を防錆する）

- 【電気防食工法】※
- 【鉄筋防錆材（亜硝酸リチウム）の活用】

※劣化進行が早い場合に適用される

38

【中性化】調査診断から補修設計までの流れ

【調査・診断段階】

- ①外観変状調査
・・・ひび割れ、浮き・はく離、鉄筋露出、鉄筋腐食度
- ②コア採取～室内試験
・・・中性化深さ、圧縮強度、（塩化物イオン濃度）
- ③診断
・・・中性化残り、（腐食発生限界濃度）

【補修設計段階】

- ①補修工法の比較検討
・・・3～5種類の塩害対策工法による比較表作成
- ②最終成果品
・・・図面、数量、工事費など

39

よくみる調査補修設計の事例2（中性化）～これで十分か？

【調査・診断段階】

中性化深さが鉄筋位置を超えており、鉄筋腐食、ひび割れ、錆汁が見られていることから、劣化原因を中性化と判定する。

【補修設計段階】

中性化の補修工法として下記の5工法の比較表を作成

- 第1案 表面含浸・被覆工法
 - 第2案 断面修復工法
 - 第3案 再アルカリ化工法
 - 第4案 電気防食工法※
 - 第5案 防錆材（亜硝酸リチウム）内部圧入工法
- 経済性を含む総合評価の結果、第○案を採用

調査した内容と、比較検討する補修工法の要求性能は合致していますか？

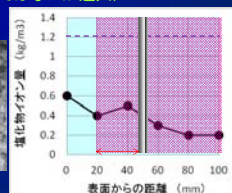
40

【中性化】劣化状況・程度に応じた補修工法選定の考え方の例

状況①【鉄筋腐食度は小さく、中性化残りも10mm以上】

- ・本構造物の環境では、中性化による鉄筋腐食が著しく進行しない
- ・以後のCO₂浸入を抑制することで鉄筋腐食を防ぐことが可能となる

- 表面含浸・被覆工法（以後の劣化因子を遮断）
- × 断面修復工法（除去すべき劣化因子が少ない）
- × 再アルカリ化工法（除去すべき劣化因子が少ない）
- × 電気防食工法※（無意味ではないが過大）
- × 亜硝酸リチウム内部圧入（無意味ではないが過大）



注意：○△×の評価はあくまで考え方の例です

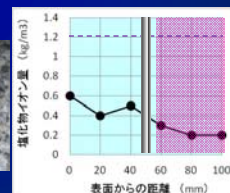
41

状況②【鉄筋腐食度は小さいが、中性化残りも10mm未満

（早期に10mmを超える）】

- ・中性化による鉄筋腐食がこれから顕在化する可能性大
- ・鉄筋が腐食を開始する前に中性化領域を除去

- 表面含浸・被覆工法（水分と酸素を十分に遮断できれば）
- △ 断面修復工法（劣化因子を除去するが健全なコンクリートを痛める）
- 再アルカリ化工法（鉄筋腐食の開始前に劣化因子を除去）
- △ 電気防食工法※（中性化しても鉄筋を腐食させないが、過大）
- 亜硝酸リチウム内部圧入（中性化して鉄筋を腐食させない）



注意：○△×の評価はあくまで考え方の例です

42

状況③ 【鉄筋腐食度が大きい、かぶりコンクリートは比較的健全】

- ・既に鉄筋腐食が著しく進行しているため、この段階で劣化因子(CO_2)を遮断するのみでは不十分(手遅れ)
- ・鉄筋腐食を抑制する工法を選定しないと、早期に再劣化
- × 表面含浸・被覆工法 (以後の劣化因子の遮断だけでは手遅れ)
- △ 断面修復工法 (劣化因子を除去するが健全なコンクリートを痛める)
- × 再アルカリ化工法 (ここで劣化因子を除去しても手遅れ)
- 電気防食工法^{*} (中性化しても鉄筋を腐食させない)
- 亜硝酸リチウム内部圧入 (中性化しても鉄筋を腐食させない)



注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

43

状況④ 【鉄筋腐食度が大きく、かぶりコンクリートも脆弱】

- ・鉄筋腐食が著しく、浮き・はく離が生じている状態

- 表面含浸・被覆工法 + 断面修復
- 断面修復工法のみ
- × 再アルカリ化 + 断面修復
- 電気防食工法^{*} + 断面修復
- 亜硝酸リチウムと断面修復との併用



注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

44

2. 3 ASRの補修工法選定の考え方

技術資料 P.20~P.25
P.38~P.42

【ASR】補修工法の種類と要求性能

①劣化因子の遮断

(外部からの水分の浸入を低減する)

- 【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低減する)

- 【ASR抑制剤(亜硝酸リチウム)の活用】

③膨張の拘束

(部材のASR膨張を拘束する)

- 【部材接着工法・巻立て工法】

45

①劣化因子の遮断



表面被覆工法



表面含浸工法



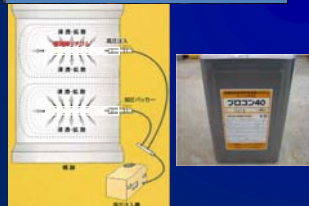
ひび割れ注入工法

46

②ゲルの非膨張化



ASR抑制剤(亜硝酸リチウム)の活用



③膨張の拘束



鋼板接着工法

47

【ASR】調査診断から補修設計までの流れ

【調査・診断段階】

- ①外観変状調査
 - …亀甲状ひび割れ、白色ゲル析出
- ②コア採取～室内試験
 - …圧縮強度、反応リム、SEM観察、残存膨張量試験
- ③診断
 - …ASR特有の事象、残存膨張量

【補修設計段階】

- ①補修工法の比較検討
 - …3～5種類の塩害対策工法による比較表作成
- ②最終成果品
 - …図面、数量、工事費など

48

よくみる調査補修設計の事例3 (ASR) ～これで十分か？

【調査・診断段階】

ASR特有の亀甲状ひび割れが見られ、反応リム、ASRゲルが検出された。また残存膨張量も有害なレベルであったことから、劣化原因をASRと判定する。

【補修設計段階】

ASR対策工法として下記の3工法の比較表を作成

- 第1案 表面含浸工法 (シラン系撥水材)
 - 第2案 表面被覆工法 (柔軟型厚膜被覆)
 - 第3案 内部圧入工法 (亜硝酸リチウム)
- (各案ともにひび割れ注入工との組み合わせを前提とする)
経済性を含む総合評価の結果、第0案を採用

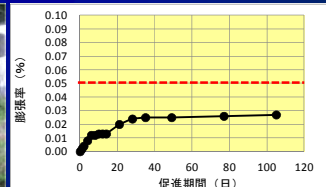
調査した内容と、比較検討する補修工法の要求性能は合致していますか？

【ASR】劣化状況・程度に応じた補修工法選定の考え方の例

状況① 【変状は軽微で、残存膨張量は十分に小さい】

- ・ASR膨張性はもともと大きくない
- ・以後のひび割れ進行をそれほど考慮する必要はない
- ・外部からの水分を遮断することで一定の補修効果が期待できる

- 表面含浸工法 (以後の劣化因子を遮断)
- △ 表面被覆工法 (ひび割れ追従性は必要ない)
- × 内部圧入工法 (膨張を抑制する意味がない)

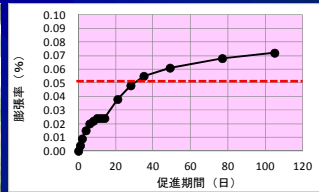


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

状況② 【変状は軽微であるが、残存膨張量は十分に大きい】

- ・これからASR膨張が進行する可能性を考慮する必要がある
- ・ただし、この時点で水分を完全に遮断できればASRは進行しない

- 表面含浸工法 (ただし、水分を十分に遮断できることが条件)
- 表面被覆工法 (ただし、水分を十分に遮断できることが条件)
- 内部圧入工法 (補修効果が水分の有無に左右されない)

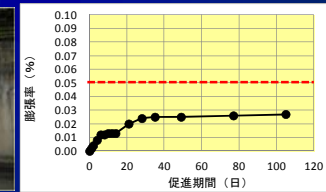


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

状況③ 【変状は著しいが、残存膨張量は十分に小さい】

- ・ASR膨張性は既に収束している
- ・以後のひび割れ進行を考慮する必要はない

- 表面含浸工法 (軽微な補修+経過観察)
- 表面被覆工法 (美観性向上が求められる場合)
- × 内部圧入工法 (膨張を抑制する意味がない)

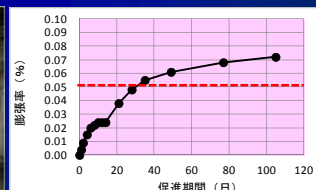


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

状況④ 【変状が著しく、残存膨張量も十分に大きい】

- ・今後もASR膨張が進行するため、著しい変状がさらに甚大化する
- ・残膨張得ようが大きいいため、単なる表面保護では早期に再劣化
- ・ASR膨張を根本的に抑制するための工法選定

- × 表面含浸工法 (この時点で水分遮断を図っても手遅れ)
- × 表面被覆工法 (この時点で水分遮断を図っても手遅れ)
- 内部圧入工法 (既に進行中のASR膨張を根本的に抑制)



注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

【ASR】維持管理シナリオに応じた補修工法選定の考え方の例

状況④ 【変状が著しく、残存膨張量も十分に大きい】を例にとって

- ・今後もASR膨張が進行するため、著しい変状がさらに甚大化する
- ・残膨張得ようが大きいいため、単なる表面保護では早期に再劣化

『標準』

- × 表面含浸工法 (この時点で水分遮断を図っても手遅れ)
- × 表面被覆工法 (この時点で水分遮断を図っても手遅れ)
- 内部圧入工法 (既に進行中のASR膨張を根本的に抑制)

『再補修作業が容易な立地条件であり、再劣化のたびに速やかに再補修を行う』

- 表面含浸工法 (劣化モニタリング可能な軽微な補修を繰り返す)
- △ 表面被覆工法 (劣化進行状況を把握しにくい)
- × 内部圧入工法 (イニシャルコストの経済性を重視すると不適)

⇒ただし、再劣化・再補修を繰り返すたびに、構造物の耐久性は低下していくことに注意が必要

注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

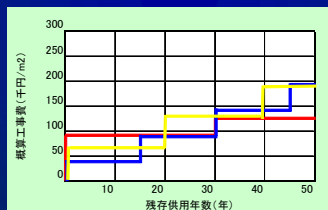
LCCを考慮した経済比較の考え方の例

比較検討における経済性比較

- ・イニシャルコストの比較
- ・ライフサイクルコストまで考慮した総合比較
⇒補修後の再劣化をどうイメージするか？

補修工法の耐用年数とは？

- ①純粋な補修材料の寿命(劣化進行とは無関係)
- ②劣化進行により再補修が必要となるまでの期間
⇒材料寿命よりも早期に再補修が必要になることも



55

予防保全的な維持管理の考え方の例

【コンクリート標準示方書[維持管理編]の定義】

『予防維持管理』

構造物の性能低下を引き起こさないために、劣化を顕在化させないことなどを目的として実施する維持管理

(例)コンクリート中に塩分が侵入しないように、あらかじめ表面含浸工法などを適用しておく

【予防維持管理の拡大解釈？】・・・ASR補修を例にとって

『事後保全的な考え方の例』

ASR補修として軽微な対策を施した後、再びASR膨張ひび割れが顕在化する度に、ひび割れ注入と表面保護工を繰り返す。



『予防保全的な考え方の例』

既にASR劣化している構造物の補修においても、ASRを根本的に抑制できる対策(内部圧入など)を施すことによって、以後のASR膨張(耐久性低下)を起こさせない。

56

【コンクリートメンテナンス協会 技術資料のご紹介】



『コンクリート構造物の維持管理』 ～技術資料～

Ver. 2.4

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

定価 ¥1,500

お申し込みはコンクリートメンテナンス協会HPから
<http://www.j-cma.jp/>

57

『コンクリート構造物の維持管理』 ～技術資料～ 目次

1. はじめに
2. コンクリート構造物の主な劣化とその補修対策
 - 2.1 塩害
 - 2.2 中性化
 - 2.3 アルカリシリカ反応 (ASR)
3. 亜硝酸リチウムを用いた効果的な補修工法
 - 3.1 亜硝酸リチウムとは
 - 3.2 亜硝酸リチウムを用いた塩害・中性化の補修工法
 - 3.3 亜硝酸リチウムを用いたASRの補修工法
 - 3.4 浸透拡散型亜硝酸リチウム『プロコン40』
 - 3.5 亜硝酸リチウムの安全性について
4. 亜硝酸リチウムを用いた補修事例
5. 亜硝酸リチウム関連論文集

58

技術資料 P.27～

3. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法

59

技術資料 P.27～P.30

3.1 亜硝酸リチウムとは



亜硝酸リチウム40%水溶液

60

亜硝酸リチウム

【Lithium Nitrite ; LiNO_2 】

- ・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）



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^+

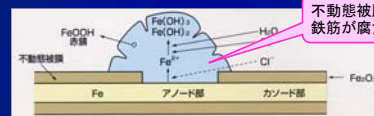
アルカリシリカゲルを
非膨張化する

『ASR対策』

61

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制 ⇒ 不動態被膜再生

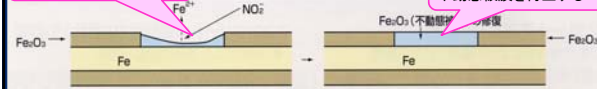
- ・塩害、中性化はいずれも不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題
⇒ 塩害、中性化対策とは、共に鉄筋腐食を抑制すること
- ・亜硝酸イオン(NO_2^-)の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告



不動態被膜が破壊され、
鉄筋が腐食している状態

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
不動態被膜を再生する



亜硝酸イオン(NO_2^-)による不動態被膜再生メカニズム

62

リチウムイオンによるASR抑制効果 ⇒ 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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} \quad (\text{吸水膨張})$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \rightarrow \text{NaLiO} \cdot n\text{SiO}_2 \quad (\text{NaとLiとのイオン交換})$

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

63

3.2 塩害・中性化の補修

技術資料 P.27~P.30



亜硝酸リチウム含有ペースト



亜硝酸リチウム含有モルタル

64

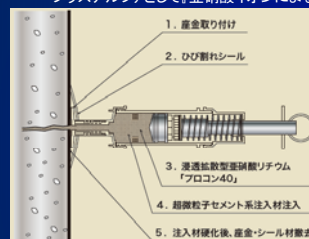
【塩害補修工法の種類と要求性能】

- ①劣化因子の遮断（塩化物イオン、二酸化炭素、水、酸素）
 - 【表面被覆工法】
 - 【表面含浸工法】
 - 【ひび割れ注入工法】
- ②劣化因子の除去
 - 【断面修復工法】
 - 【脱塩工法】
- ③鉄筋腐食の抑制
 - 【電気防食工法】
 - 【亜硝酸リチウム内部圧入】
 - 【亜硝酸リチウムの活用】

65

【ひび割れ注入工法】・・・ リハビリシリンダー工法

『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』（NETIS:CG-110017-A）
プラスアルファとして『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

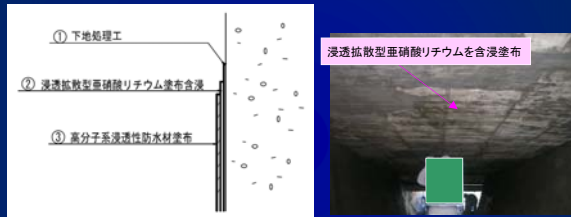
ひび割れを通じて鉄筋に亜硝酸イオンを供給する

66

【表面含浸工法】

『表面含浸材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『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亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムの溶出を防ぐために、浸透性防水材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

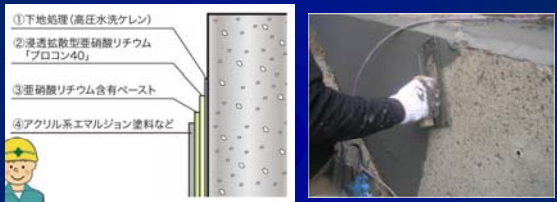
コンクリート表面から鉄筋に向けて亜硝酸イオンを浸透させる

67

【表面被覆工法】

『表面被覆材による劣化因子の遮断』

プラスアルファとして『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亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にてコンクリート表面をコーティングする ⇒ 鉄筋防錆、劣化因子の遮断
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

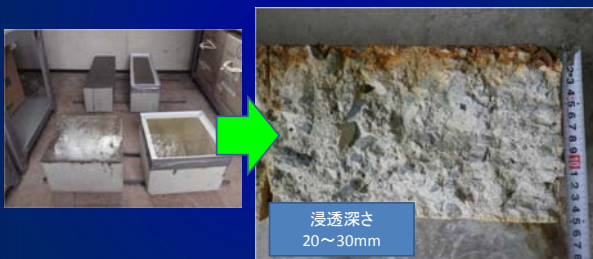
コンクリート表面から鉄筋に向けて亜硝酸イオンを浸透させる

68

参考：亜硝酸リチウムの浸透深さ(表面含浸の場合)

- ・コンクリート供試体表面に亜硝酸リチウム40%水溶液を塗布(0.3kg/m²)

- ・5ヶ月後に供試体を割裂して浸透深さを測定(呈色反応試験)

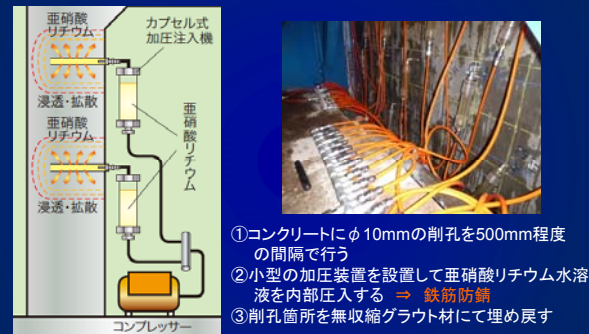


69

【亜硝酸リチウム内部圧入工法】・・・リハビリカプセル工法

(NETIS:CG-120005-A)

『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』



- ①コンクリートにφ10mmの削孔を500mm程度の間隔で行う
- ②小型の加圧装置を設置して亜硝酸リチウム水溶液を内部圧入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

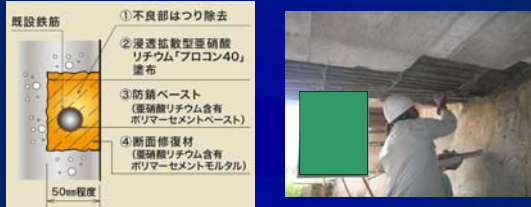
削孔箇所から鉄筋周囲へ亜硝酸イオンを圧入する

70

【断面修復工法】

『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

『コンクリート劣化部の除去』およびそれに伴う『内部の塩化物イオンの除去』



- ①かぶりコンクリートの不良部をはつとり、鉄筋を露出させる
- ②露出した鉄筋の錆をケレンした後、防錆ペーストとして亜硝酸リチウム含有モルタルを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
- ③ポリマーセメントモルタルにて断面欠損部を修復する

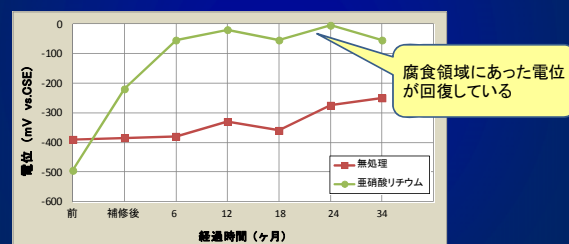
はつりだした鉄筋に直接亜硝酸イオンを供給する

71

参考：亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果

福田らの研究より

- ・コンクリート供試体製作(100×100×400mm, W/C=0.7, かぶり10mm)
- ・促進中性化処理96日後、乾湿繰返し処理5サイクル
- ・鉄筋腐食減量0.3%程度の段階で、下記の表面被覆工による補修
- ①亜硝酸リチウム水溶液塗布
- ②亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル塗布
- ・その後、34ヶ月間の屋外暴露試験



屋外暴露試験での自然電位の推移

72

3. 3 ASRの補修

技術資料 P.38～P.45

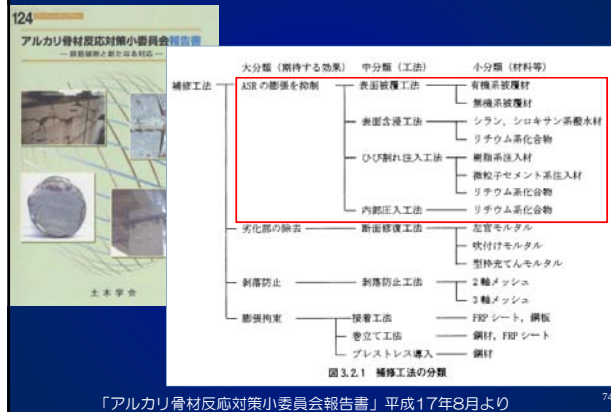


ひび割れ注入工

内部圧入工

73

ASR補修工法



74

【ASR補修工法の種類と要求性能】

①劣化因子の遮断 (水分)

【表面被覆工法】

- 有機系被覆材
- 無機系被覆材

【表面含浸工法】

- シリレン系撥水材 (内部からの水分逸散)
- 表面改質剤 (コンクリート表層部の緻密化)

【ひび割れ注入工法】

- 樹脂系注入材 (ひび割れ追従性)
- 超微粒子セメント系注入材

②ASRゲル膨張の抑制

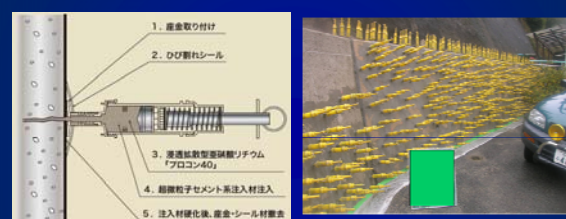
【亜硝酸リチウム内部圧入】 【亜硝酸リチウムの活用】

75

【ひび割れ注入工法】・・・ リハビリシリンドラー工法

『ひび割れ注入材による劣化因子 (水分) の遮断』
プラスアルファとして『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与

(NETIS:CG-110017-A)



- 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 ⇒ ゲルの非膨張化
- 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

ひび割れ周辺のコンクリートにリチウムイオンを供給する

76

参考：亜硝酸リチウムの浸透深さ (ひび割れ注入の場合)

- ・ひび割れ注入工法を施工した後の構造物から、φ100mmのコアを採取。
- ⇒ ひび割れの充填状況を確認 (目視確認)
- ⇒ 亜硝酸リチウムの浸透状況を確認 (呈色反応試験)



ひび割れに注入された
亜硝酸リチウムが浸透
している (着色範囲)

ひび割れ注入材が
充填されている

・ひび割れの深部まで注入材が充填されていることを確認した。

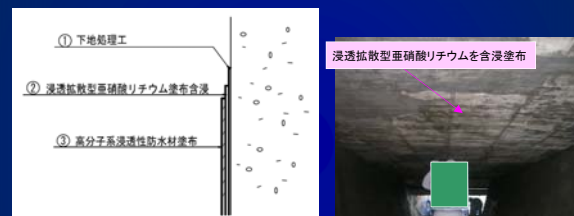
・コア表面に呈色液 (亜硝酸リチウムと反応して茶褐色に変色) を塗布することで、亜硝酸リチウムの浸透範囲を確認した。

『注入材の充填状況』および『亜硝酸リチウムの浸透状況』を現場で確認することができる

77

【表面含浸工法】

『表面含浸材による劣化因子の遮断』
プラスアルファとして『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与



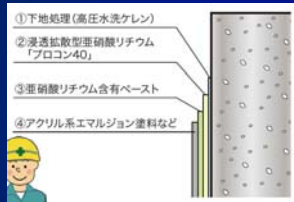
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ ゲルの非膨張化
- ③亜硝酸リチウムの溶出を防ぐために、浸透性防水材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

78

【表面被覆工法】

『表面被覆材による劣化因子(水分)の遮断』
 プラスアルファとして『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与



- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ ゲルの非膨張化
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にてコンクリート表面をコーティングする ⇒ ゲルの非膨張化、劣化因子の遮断
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

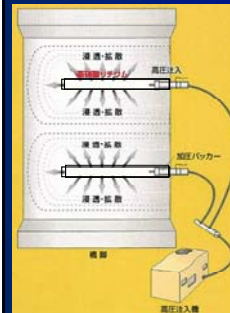
コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

79

【亜硝酸リチウム内部圧入工法】・・・ ASRリチウム工法

『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』

(NETIS:KK-010026-A)



・コンクリートに削孔して、亜硝酸リチウム40%水溶液を加圧注入

注入量 : Li/Naモル比0.8となる LiNO_2
 削孔径 : $\phi 10\text{mm}$, 20mm , 38mm
 削孔間隔 : 500mm , 750mm , 1000mm
 注入圧力 : $0.5\text{MPa} \sim 1.5\text{MPa}$
 注入期間 : 20日～40日程度

- ①ひび割れ注入および表面被覆により、コンクリート表面のひび割れを閉塞する
- ②コンクリートに小径の削孔を行い、圧入孔とする
- ③油圧式圧入装置、配管、バックカーを設置して、亜硝酸リチウムを加圧注入する
- ④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、削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

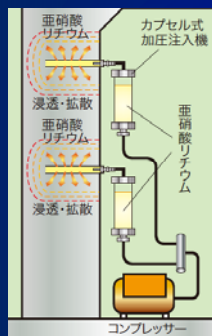
削孔箇所からコンクリート内部全体へリチウムイオンを圧入する

80

【亜硝酸リチウム内部圧入工法】・・・ リハビリカプセル工法

『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』

(NETIS:CG-120005-A)



・コンクリートに削孔して、亜硝酸リチウム40%水溶液を加圧注入。
 ・小規模施工において経済性向上

注入量 : Li/Naモル比0.8となる LiNO_2
 削孔径 : $\phi 10\text{mm}$
 削孔間隔 : 500mm
 注入圧力 : $0.5\text{MPa} \sim 1.0\text{MPa}$
 注入期間 : 7日～15日程度

- ①ひび割れ注入および表面被覆により、コンクリート表面のひび割れを閉塞する
- ②コンクリートに小径の削孔を行い、圧入孔とする
- ③コンプレッサー、カプセル式圧入装置、バックカーを設置して亜硝酸リチウムを加圧注入する
- ④削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

削孔箇所からコンクリート内部全体へリチウムイオンを圧入する

81

参考 : 亜硝酸リチウムの浸透深さ(内部圧入工の場合)

油圧式

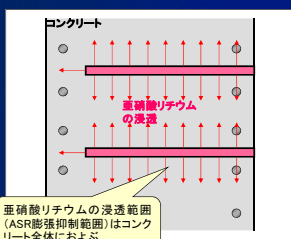


カプセル式



82

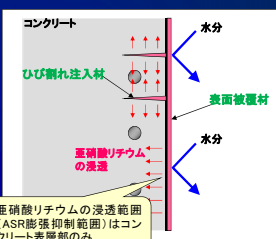
【内部圧入工の場合】



・リチウムの浸透範囲が広い
 ⇒ ASR抑制効果の期待度が高い

・ASR膨張性の大きい場合の対策として最も適する

【ひび割れ注入・表面被覆工の場合】



・リチウムの浸透範囲が表層に限られる
 ⇒ ASR膨張性が比較的穏やかな場合に適用できる

・従来のひび割れ注入や表面被覆工よりも延命化を図ることができる

適用区分

83

参考 : 阪神高速道路『ASR橋脚の維持管理マニュアル』平成17年10月

第8章 対策の検討

- ① ASRの進行抑制を目的とした補修
 - ・表面保護工(撥水系・防水系)
 - ・ひび割れ注入工
 - ・亜硝酸リチウムの塗布および注入工など
- ② 耐荷性能の回復を目的とした補修
 - ・鋼板巻き立て工^{*1}
 - ・連続繊維シート巻き立て工^{*2}
 - ・P Cコンファインド工^{*3}
 - など

*1,*2,*3 : 止水効果や拘束効果によるASRの進行抑制効果もある。

84

参考：国交省 アルカリ骨材反応による劣化をうけた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)』平成20年3月

5.6 ASRによる変状の進行を抑制するための補修

- (1) ASRによる変状の進行を抑制するための補修は、十分な補修効果が得られる見込みのある場合に、これを行うものとする。
- (2) 表面保護工法による補修の具体的な方法については、5.4.1～5.4.2を参考にするものとする。

【解 説】

(1)について

ASRによる変状の進行を抑制するための補修としては、外部からの水分の供給を遮断して、劣化部のコンクリートの含水状態を低下させ、ASRによるコンクリートの膨張を抑制する表面保護工法が採用される場合が多い。しかし、すでに補修が行われた構造物を見ると、表面保護工法の適用後もASRによる劣化が進行したり、部分的に保護されていない箇所から構造物中への水分の侵入が見られたりした結果、再度劣化している事例も少なくない。加えて、遮水系表面保護工法を適用すると、目視による経過観察が困難になるという問題もある。したがって、ASRによる変状の進行を抑制することを目的とした補修を行う際には、上記のような点について十分に検討し、補修効果が得られる見込みの高い場合に実施するのがよい。

85

参考5：リチウムイオン内部圧入工法について

近年、ASR抑制手法としてリチウムイオンをコンクリート中に圧入させる工法が提案されている。リチウムイオン内部圧入工法の原理は、ナトリウムイオンやカリウムイオンの代わりにリチウムイオンを反応させることで、膨張性のないシリカ生成物を生じせしめ、ASRによる膨張を防ぐものである。ただし、リチウムイオン内部圧入工法は、比較的新しい補修工法なので、補修効果を得るための条件が、十分には明確にされていないのが現状である。したがって、例えば、コンクリート中に圧入するリチウムイオンの量や、使用するリチウム塩の種類、圧入方法、施工中の品質管理手法、圧入後のリチウムイオンの流出を防ぐための対策などについてあらかじめ検討し、当該構造物の条件に合致した補修計画を立てておかなければならない。また、リチウム塩として亜硝酸リチウムを使用する場合、亜硝酸イオンは、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素として環境基準値10mg/l以下（平成15年11月5日環境省告示第123号 水質汚濁に係わる環境基準「人の健康の保護に関する基準」）と定められているので、施工中も含め流出には十分注意しなければならない。

86

参考：国交省 中国地方整備局『橋梁補修・補強の手引き(案)』平成24年3月

(2) 期待する効果とそれが得られる工法例

期待する効果とそれが得られる補修・補強工法例を表-4.4.2に示す。

表-4.4.2 期待する効果と補修・補強工法例

補修・補強工法に期待する効果	工法例
①ASRの進行を抑制	・表面保護工 ・内部圧入工（リチウムイオン） ・水分の供給源を防止する対策 など
②ASRによる鋼材の腐食進行を抑制	・ひびわれ注入工 ・ひびわれ充填工 ・断面修復工 など
③鋼筋力の回復、向上	・FRP接着 ・鋼板接着 ・外ケーブル ・巻立て ・増層 など

ここで、アルカリ骨材反応の進行を抑制する対策としての「内部圧入工（リチウムイオン）」は、「ASRガイドライン」では参考工法として記載されていたが、昨今の施工実績の増加などを踏まえて、本手引きでは標準的な工法に位置付けた。

87

参考：国交省 四国地方整備局『橋梁の長寿命化修繕計画』平成23年4月

1. 管内橋梁の状況

2) 「橋梁の三大損傷」の対策

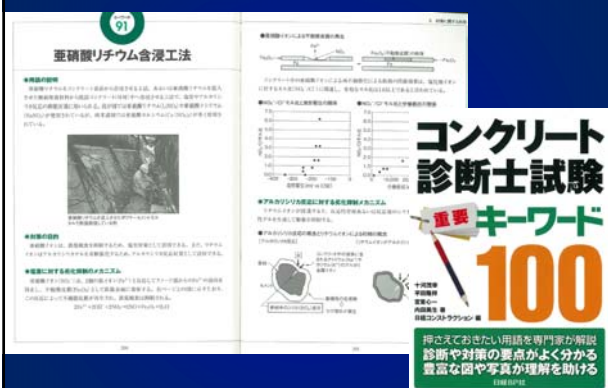
「橋梁の三大損傷」とは、「疲労」「塩害」「アルカリ骨材反応」を言い、放置することにより劣化が進行し、橋梁の安全性に影響を及ぼす可能性のある橋梁の劣化要因です。これらの損傷に対して適切に対策を実施しています。

【損傷事例】 三大損傷の損傷・対策事例



88

参考：『コンクリート診断士試験 重要キーワード100』



89

3.4 浸透拡散型亜硝酸リチウム

技術資料 P.46

(NETIS:CG-100022-A)

・塩害、中性化、ASRによって劣化したコンクリートの補修対策に亜硝酸リチウムを使用する場合、コンクリート中の亜硝酸リチウムの浸透範囲の大きさがそのまま補修効果に直結する

・できるだけコンクリート中の浸透性能の高い亜硝酸リチウム製品が望ましい

・浸透拡散型亜硝酸リチウム【プロコン40】(NETIS登録技術)



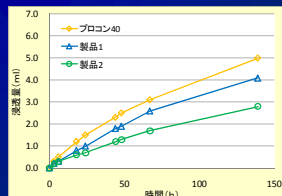
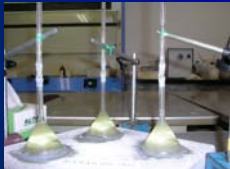
浸透拡散型亜硝酸リチウム【プロコン40】

90

【亜硝酸リチウムの浸透性能確認試験結果】

- ・プロコン40と従来品の亜硝酸リチウム2種類を用いて浸透性能確認試験を実施（『JSCF-K571-2004「表面含浸材の試験方法（案）」6.3透水量試験』に準拠）
- ・一定水圧作用下において、コンクリート中への浸透性能は浸透拡散型のほうが従来品よりも25%程度向上
- ・この試験は亜硝酸イオンやリチウムイオンのイオン拡散性ではなく、水溶液の状態でのコンクリート中の浸透を測定したもの

したがって、浸透拡散型亜硝酸リチウムが内部圧入工法やひび割れ注入工法など、圧力を作用させて使用する場合の施工において優位性を発揮することを示す



91

3. 5 亜硝酸リチウムの安全性

技術資料 P.47~49

(1) 亜硝酸リチウムの化学薬品としての分類

亜硝酸リチウムは、**毒物、劇物**には該当しない。

⇒ マウス終口投与による急性毒性試験を実施して確認されている

- 毒物：急性毒性試験によるLD₅₀値が30mg/kg以下のもの
- 劇物：急性毒性試験によるLD₅₀値が30~300mg/kgのもの
- 普通物：急性毒性試験によるLD₅₀値が300mg/kg以上のもの

※LD₅₀・・・実験動物群の半数が死亡すると推定される投与量で、動物の体重1kgあたりの投与物質mg量で表す。

・亜硝酸リチウムの急性毒性試験（雄マウス、亜硝酸リチウム40%水溶液経口投与）の結果、LD₅₀=419.3mg/kg > 300mg/kg ⇒ **普通物**

92

(2) 亜硝酸リチウムの安全性

亜硝酸リチウムは権威ある「危険・有害物質リスト」にリストアップされていない

- ⇒ 亜硝酸は自然界にも普遍的に存在している
- ⇒ リチウムは医療分野でも使用されている

・(社)日本化学物質安全・情報センター、日本産業衛生学会などから公表された権威ある危険・有害物質リストにリストアップされていない

・引火性、発火性、爆発性などはいずれもなし

・亜硝酸イオンは自然界における窒素の循環の過程で普遍的に存在

・亜硝酸ナトリウム（亜硝酸ソーダ）は食品添加物としても使用されている

・リチウムは躁鬱病の改善効果がある

・炭酸リチウムが治療薬として使用されている

93

(3) 亜硝酸リチウムの発がん性

亜硝酸リチウムは権威ある「発がん性物質リスト」にリストアップされていない

⇒ ラットによる発がん性試験により安全性が確認されている

・以下の権威ある国際機関、各国政府などによる「発がん性物質リスト」にリストアップされていない

IARC(国際癌研究機関)

(社)日本産業衛生学会

ACGIH(米国産業衛生専門会議)

米国EPA(環境保護庁)

米国NTP(国家毒性プログラム)

EU(欧州連合)

・亜硝酸リチウムの発がん性について、ラットを用いた動物実験が実施されている

・ラットに飲料水中濃度0.125%、0.25%の亜硝酸ソーダを2年間投与した結果、投与群と非投与群との間に有意差は認められなかったと報告されている

94

(4) 亜硝酸リチウムに関連する法規制・基準類

亜硝酸リチウムの使用において**遵守すべき規程**

- ⇒ 水質汚濁防止法の排水基準などに対し、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素として監視する必要がある

法規制・基準等	基準値
水質汚濁に関する環境基準	亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素 :10mg/l
水質汚濁防止法の排水基準	アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の合計 :100 mg/l
特定事業場からの下水の排除の制限に係る水質の基準（工場排水が1/4以上の場合）	アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素の合計 :125 mg/l

・亜硝酸リチウムを用いた補修工事において、上記の基準値を超える可能性があるのは、**不慮の事故または災害等**により保管中の亜硝酸リチウム水溶液が**大量に流出**するような場合のみ

・保管時に適切な管理が必要

95

シミュレーション結果

（コンクリート補修に亜硝酸リチウムを使用した場合）

補修後のコンクリートからの亜硝酸リチウム自然溶出量は極めて微量

- ⇒ 亜硝酸性窒素として0.00034mg/l（試算結果）
（水質汚濁に関する環境基準値 10mg/l）

条件

- 川幅10m、水深1m、流量1m/sec
- 河川両岸10mの範囲のコンクリート構造物に、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルを塗布
- このときの亜硝酸リチウム量は59.3kg/m3

結果

- 溶出される亜硝酸性窒素の濃度は0.00034mg/l
- これは水質汚濁に関する環境基準値に比べて極めて微量
- しかも亜硝酸は自然界では不安定な物質であり、環境に蓄積される可能性は少ない

96

4. 1 事例紹介

技術資料 P.51~P.53

(1) 塩害で劣化したRC上部工の補修

採用された工法：『断面修復工法 + 表面被覆工法』
(亜硝酸リチウムを併用する)

【対象構造物】

- ・臨海地域にあるRC上部工

【塩害による劣化状況】

- ・コンクリートはく離、鉄筋露出
- ・コンクリート浮き(斜線部)

【塩害の抑制方針】

- ・鉄筋腐食の抑制
- ・劣化因子(Cl^-)の除去、遮断

【補修工法の選定】

- ・断面修復工 + 表面被覆工



①着工前(劣化状況)

97

(1) 断面修復工

【使用機材】

- ・ハンドハンマ



②コンクリートはつり

コンクリート表面をたたき点検し、浮きのある箇所をはつり落とす



③はつり完了

(鉄筋露出部以外でも鉄筋腐食は進んでいる)

98

(1) 断面修復工

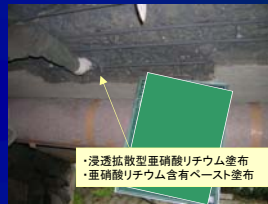
【使用材料】

- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液
- ・亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト



④鉄筋ケレン

腐食した鉄筋の表面をケレンし、入念に錆を落とす



⑤鉄筋防錆材塗布

亜硝酸リチウム40%水溶液を塗布する
亜硝酸リチウム含有ペーストを塗布する

99

(1) 断面修復工

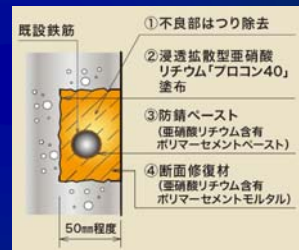
【使用材料】

- ・亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル



⑥断面修復

亜硝酸リチウム含有モルタルを用いて左官工法にて断面修復する

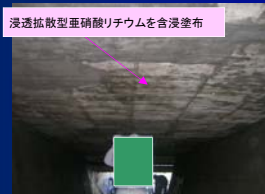


100

(2) 表面被覆工

【使用材料】

- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液
- ・亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト



①亜硝酸リチウム塗布含浸

亜硝酸リチウム40%水溶液をコンクリート表面に塗布し、含浸させる



②表面被覆

亜硝酸リチウム含有ペーストをコンクリート表面に塗布する

101

(2) 表面被覆工

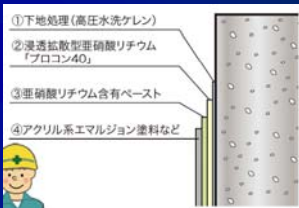
【使用材料】

- ・アクリル系エマルジョン塗料など
- ・浸透性防水材など



③上塗り

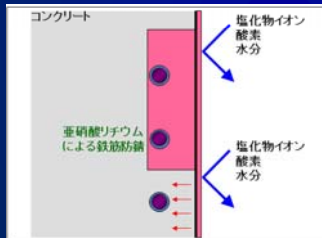
アクリル系エマルジョン塗料や浸透性防水材などを上塗りし、ポリマーセメントペースト層を保護する



102

期待される塩害抑制効果

- ・断面修復工により、既に浸入した塩化物イオンを除去
- ・表面被覆工により、今後の塩化物イオンの浸入を抑制
⇒ 塩化物イオンによる鉄筋腐食環境を改善
- ・補修材料中の亜硝酸イオンがコンクリート中に拡散し、鉄筋を防錆
⇒ 亜硝酸イオンが鉄筋の不動態被膜を再生し、鉄筋腐食を抑制



塩化物イオンの遮断に加え、既に腐食している鉄筋の不動態被膜を再生し、以後の鉄筋腐食を抑制する

103

(2) 亜硝酸リチウムによる塩害補修の設計(必要量算出)



抑制根拠：亜硝酸イオンが不動態被膜を再生し、鉄筋腐食を抑制する

基本方針：不動態被膜を再生するために必要な亜硝酸イオンを供給する

【劣化要因が塩害の場合】

既往の研究により、以下の亜硝酸イオン量があればOK

$[\text{NO}_2^-] / [\text{Cl}^-]$ モル比 = 1.0となる量

例)

鉄筋位置での塩化物イオン濃度	亜硝酸リチウム必要量	亜硝酸リチウム40%水溶液必要量
1.2kg/m ³	1.97kg/m ³	4.48kg/m ³
5.0kg/m ³	7.47kg/m ³	18.67kg/m ³
10.0kg/m ³	14.94kg/m ³	37.34kg/m ³

104

技術資料 P.54～P.59

(3) ASRで劣化した橋台の補修

採用された工法：『亜硝酸リチウム内部圧入工法』

【対象構造物】

- ・橋台

【ASRによる劣化状況】

- ・亀甲状ひび割れ発生
- ・最大ひび割れ幅：6.0mm
- ・残存膨張量：0.15% (カナダ法)

【ASRの抑制方針】

- ・アルカリシリカゲルの非膨張化

【補修工法の選定】

- ・リチウムイオン内部圧入工



①着工前(劣化状況)

105

リチウムイオン内部圧入工法

【使用材料】

- ・ひび割れ注入材、ポリマーセメントペースト



②表面漏出防止(ひび割れ注入)

コンクリート表面からの漏出防止として、ひび割れ注入工を実施する(幅0.2mm以上)



③表面漏出防止(表面シール)

同様に、幅0.2mm未満のひび割れやジャンカ等に対し、表面シールを行う

106

リチウムイオン内部圧入工法

【使用機材】

- ・鉄筋探査機、ダイヤモンドコアドリル



④鉄筋探査工

圧入孔の削孔時に鉄筋を損傷させることのないよう、鉄筋探査を行う



⑤圧入孔削孔

圧入孔として、φ20mmのコア削孔を行う。本橋台では削孔ピッチを500mm間隔とした。

107

リチウムイオン内部圧入工法

【使用機材】

- ・油圧式圧入装置



⑥圧入装置の設置

圧入孔に加圧バックカー、耐圧ホースをつなぎ、圧入装置まで配管する



⑦試験加圧注入工

全孔を1孔ずつ試験的に加圧注入する。背面への漏出など不適切な孔を検出する。各孔の圧入速度を測定する

108

リチウムイオン内部圧入工法

【使用材料】
・浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液

⑧本加圧注入工
所定量の浸透拡散型亜硝酸リチウムを加圧注入する

⑨圧入孔充填工
圧入完了後、配管を撤去し、無収縮グラウト材にて圧入孔を充填する

109

リチウムイオン内部圧入工法

【使用材料】
・呈色反応試薬

⑩浸透確認(呈色試験)
隣り合う圧入孔の中間でコアを採取し、呈色反応試験を行って亜硝酸リチウムの浸透を確認する

高圧注入機

110

期待されるASR抑制効果

・圧入されたりチウムイオンがコンクリート内部にまで浸透し、ゲルを非膨張化
⇒ **コンクリート内にあるゲルは非膨張化され、ASRの進行が抑制される**

コンクリート

亜硝酸リチウムの浸透

コンクリートに削孔し、亜硝酸リチウムを加圧注入することで、表層部だけでなく、内部のASR膨張を根本的に抑制

ゲルの膨張性を消失させるため、以後の水分供給があっても再劣化しない

劣化進行がはやい構造物や、再劣化を許容しない構造物、水分遮断が困難な構造物などに対する適用が効果的

浸透拡散型亜硝酸リチウムを使用することで、補修効果の信頼度がUP!!

※ASRリチウム工法の詳細については、ASRリチウム工法HP (<http://www.asrli.jp/>) もご参照ください。

111

(4) 亜硝酸リチウムによるASR補修の設計(必要量算出)

反応性骨材 Si

非膨張化されたゲル

$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

NaとLiとのイオン交換

$\text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

抑制根拠 : リチウムイオンがASRゲルを非膨張化し、ASR膨張を抑制する

基本方針 : ASRゲルを非膨張化するために必要なリチウムイオンを供給する

既往の研究により、以下のリチウムイオン量があればOK

[Li⁺] / [Na⁺] モル比 = 0.8となる量

例)	コンクリート中のアルカリ総量	亜硝酸リチウム必要量	亜硝酸リチウム40%水溶液必要量
	3.0kg/m ³	4.10kg/m ³	10.26kg/m ³
	4.0kg/m ³	5.47kg/m ³	13.68kg/m ³
	5.0kg/m ³	6.84kg/m ³	17.10kg/m ³

112

亜硝酸リチウム内部圧入工法の適用事例

【その1 米岡小橋 (橋台)】

名称 : 平成22年度 県道河原群家線橋梁補修工事(米岡小橋 A2橋台)
場所 : 鳥取県八頭町米岡地内
施工 : 平成23年2月~3月
発注 : 鳥取県八頭総合事務所

事前調査 : 圧縮強度 21.2N/mm²
 静弾性係数 12.2kN/mm²
 残存膨張量 0.064% (JCI-DD2法)

外観変状 : 過去に表面被覆工の補修がなされていたが、既設塗膜に大きな亀裂が発生していた。

採用理由・・・過去のASR補修工法が再劣化しており、かつ残存膨張量も依然として大きい

113

亜硝酸リチウム内部圧入工法の適用事例

【その2 山内高架橋 (橋台・橋脚)】

名称 : 伊万里山内線道路整備交付金工事(橋梁補修工)
場所 : 佐賀県武雄市山内町
施工 : 平成24年12月~平成25年3月
発注 : 佐賀県武雄土木事務所

事前調査 : 圧縮強度 26.8~41.8N/mm²
 アルカリ総量 2.1~3.1kg/m³

外観変状 : 過去に表面被覆工(連続繊維シート入り)の補修がなされていたが、既設塗膜に亀裂が発生し、白色ゲルが析出していた。

採用理由・・・JRを跨ぐ重要度の高い連続高架橋で、これ以上再劣化を許容できない

114

亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その3 海田高架橋（橋台・橋脚）】

名 称 : 国道2号 海田高架橋橋脚補強工事
場 所 : 広島県安芸郡海田町地内
施 工 : 平成16年6月～平成16年10月
発 注 : 国土交通省 中国地方整備局 広島国道事務所



残存膨張量 JCI-DD2法 : 0.045%
カナダ法 : 0.19% (21日間)
外観変状 : 数年前に実施した表面被覆工法が既に再劣化している。
一部の橋脚はり部では、鉄筋破断が生じていた。

採用理由・・・JCI-DD2法の結果は小さいものの、状況証拠から判断して膨張性は著しい

115

亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その4 一ツ橋（橋台・橋脚）】

名 称 : 臨海道路橋耐震補強工事(一ツ橋)
場 所 : 愛媛県西条市北条
施 工 : 平成23年9月～平成24年6月
発 注 : 愛媛県東予地方局建設部



外観変状 : 橋脚、橋台に亀甲状ひび割れ。
一部のひび割れから錆汁。
落橋防止 : ASRで劣化した橋脚、橋台に対し、新たに落橋防止装置(縁端拡幅)を設置する。
ASR膨張によるコンクリートと鉄筋の付着低下が懸念された。

採用理由・・・落橋防止装置の性能を確保するため、ASR膨張を抑制する必要があった

116

亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その5 湯村大橋（A1橋台）】

名 称 : 国道314号湯村大橋国庫交付金道路(橋梁修繕)工事
場 所 : 島根県雲南市木次町
施 工 : 平成24年9月～平成24年12月
発 注 : 島根県雲南県土整備事務所



外観変状 : A1、A2橋台に亀甲状ひび割れ。
残存膨張量 : A1橋台 ... 0.062～0.068%
A2橋台 ... 0.017～0.029%
対策工法 : A1橋台 ... 亜硝酸リチウム内部圧入工(油圧式、カプセル式)
A2橋台 ... ひび割れ注入工+表面含浸工

採用理由・・・将来の膨張予測を考慮して、A1橋台とA2橋台で異なる対策工法を適用

117

おわりに

118

適切な評価・診断
(原因・劣化度・将来予測)

適切な補修工法・補修材料の選定
(原因に応じて選定・定量的に選定)

適切な施工
(材料知識・施工知識・設計者の意図を理解して)

適切な維持管理
(シナリオ)

↓
構造物の長寿命化

119

本日のフォーラムが皆様の業務の
一助となれば幸いです

ご清聴ありがとうございました

END

Kazunori Era

120