

# 『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. 塩害・中性化・ASRの劣化事例とメカニズム  
塩害・中性化・ASRとは  
劣化の進行とメカニズム  
劣化の進行(10年たったらどうなる?)
2. 劣化要因に応じた補修工法の考え方  
塩害の補修工法の考え方  
ASRの補修工法の考え方
3. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術  
亜硝酸リチウムとは  
亜硝酸リチウムを用いた具体的な補修工法  
亜硝酸リチウムの安全性  
施工事例と追跡調査

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

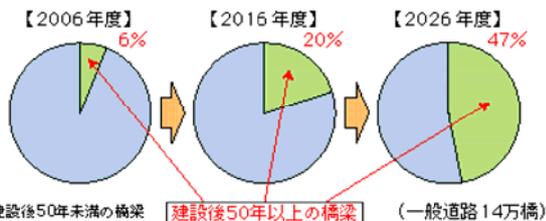


個々の状況に応じて最適な補修技術・補修材料を選定することが重要

4

## 建設後50年以上の橋梁の推移

### 建設後50年以上の橋梁の推移



資料) 道路統計年報より作成

5

## 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！

6

## 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

個々の状況に応じて最適な補修技術・補修材料を選定

- ① 『定期点検』
- ② 『詳細調査』
- ③ 『劣化要因の判定』と『健全度評価』
- ④ 『補修要否の判定』と『維持管理シナリオ』
- ⑤ 『補修工法・補修材料の選定』
- ⑥ 『補修工事の施工』
- ⑦ 『補修効果の確認』と『定期的な監視』

7

## 1. 塩害・中性化・ASRの劣化事例とメカニズム

8

## コンクリートの劣化

- ・塩害
- ・中性化
- ・アルカリシリカ反応 (ASR)
- ・凍害
- ・化学的浸食
- ・RC床版の疲労

9

## 塩害

技術資料 P.3~P.5



錆汁



主鉄筋に沿ったひび割れ



鉄筋断面減少・PC鋼材破断



鉄筋露出

10



再劣化



橋面からの漏水



再劣化



PC鋼材破断

11

## 【塩害】とは

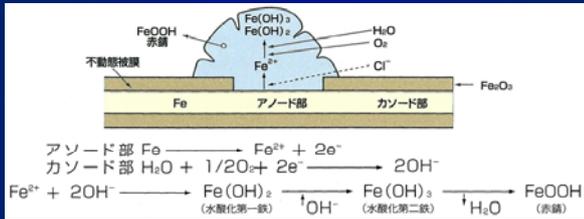
- ・種々の原因で塩分がコンクリート中に浸入し、塩化物イオンとしてコンクリート表面からコンクリート内部へ浸透し、鉄筋位置に到達
- ・鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量を超えると、鉄筋の不動態被膜が破壊され、鉄筋腐食が生じる
- ・鉄筋が腐食するとコンクリートにひび割れ、はく離が生じる
- ・ひび割れ、はく離箇所を通じて塩化物イオン、水、酸素の侵入が容易となり、鉄筋腐食がさらに加速する

### 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

12

### 【鉄筋腐食】



- ・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

13

### 中性化



14

### 【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

15

### アルカリシリカ反応(ASR)



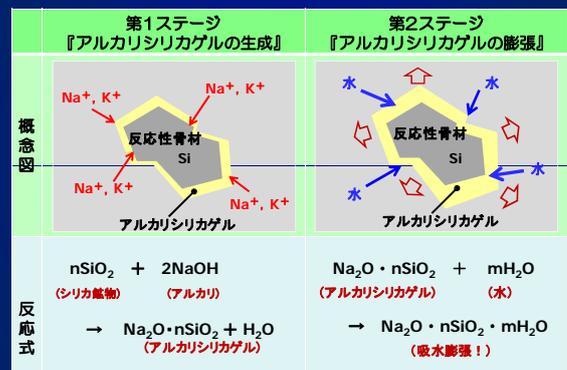
16

### 【ASR】とは

- ・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

17

### 【アルカリシリカゲルの膨張】



18

### 【ASRIによる鉄筋破断】



#### 【ASRI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
- ・ASRI膨張による鉄筋の曲げ戻し力



19

### 【ASRI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、はり末端は桁や支承、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

20

### 劣化の進行（10年たったらどうなる？）

#### 事例① 塩害で劣化したE橋



平成24年4月撮影

形式 : RC単純T桁橋  
竣工 : 不明  
立地 : 河口付近(塩害環境)

21

平成12年1月撮影

平成24年4月撮影



22

#### 【平成24年4月撮影】



23

#### 事例② 塩害の再劣化が進行したA橋



平成24年4月撮影

形式 : RC単純T桁橋  
竣工 : 不明  
立地 : 河口付近(塩害環境)

24

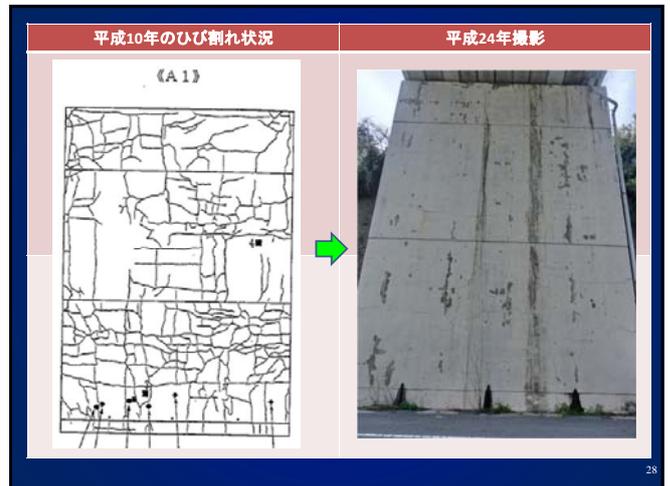


**事例③ ASRの再劣化が進行したK橋**

平成24年4月撮影

形式 : RC橋台  
 竣工 : 不明  
 補修 : 平成10年(ひび割れ注入工、表面被覆工)  
 立地 : 内陸部

27



## 2. 劣化要因に応じた補修工法の考え方

29

- 【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)
- 30

### 【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)

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

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<sup>3</sup>),

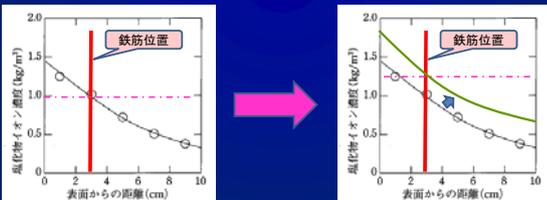
$C_0$  : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>),

$C$  : 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<sup>3</sup>),

$D$  : コンクリート中で塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/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



31

### 【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】

32

### ①塩化物イオンのコンクリート中への侵入を低減 (劣化因子の遮断)

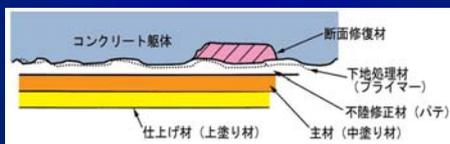
#### 【表面被覆工法】



・コンクリート表面を有機系、無機系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(塩化物イオン、水、酸素)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



33

### ①塩化物イオンのコンクリート中への侵入を低減 (劣化因子の遮断)

#### 【表面含浸工法】



・ハケ、ローラーにより塗布含浸する  
・含浸深さは数mm~数十mmで、使用材料によって異なる

・撥水効果付与 : シラン系撥水材など  
・ぜい弱部の強化 : ケイ酸ナトリウム系など

34

### ①塩化物イオンのコンクリート中への侵入を低減 (劣化因子の遮断)

#### 【ひび割れ注入工法】



自動低圧注入器(スプリング圧タイプ)



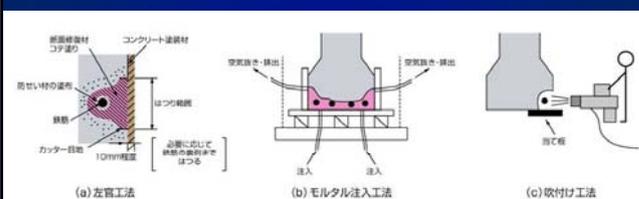
自動低圧注入器(ゴム圧タイプ)

・ひび割れを通じた劣化因子(塩化物イオン、水分、酸素)の侵入を遮断する  
・セメント系、ポリマーセメント系、樹脂系などさまざまな種類がある

35

### ②既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去 (劣化因子の除去)

#### 【断面修復工法】



・コンクリート中の塩化物イオン量が腐食発生限界を超えている  
・鉄筋腐食が開始しており、コンクリートがはく離している

・塩化物イオンを含むコンクリートをはかり取り、断面欠損部分を断面修復する  
・母材との付着性のよいポリマーセメントモルタルが用いられる  
・左官工法、モルタル注入工法(プレバック工法)、吹付け工法

36

②既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去（劣化因子の除去）

【断面修復工法】



左官工法



吹付け工法(乾式)

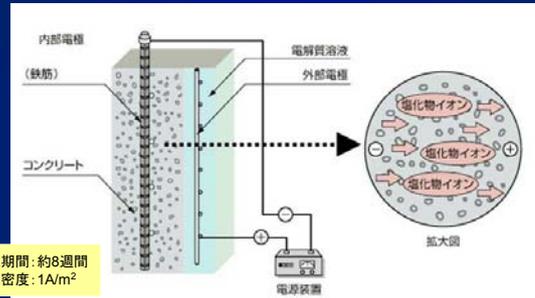
・はつり範囲は鉄筋背面側が露出するまでとするが、実際は困難な場合が多い  
⇒ コンクリート内部に除去しきれない塩化物イオンが残る

・断面修復部の境界部において**マクロセル腐食**が懸念される

・ポリマーセメントモルタルに亜硝酸リチウムを混入  
・断面修復部に犠牲陽極材を設置

②既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去（劣化因子の除去）

【脱塩工法】



通電期間:約8週間  
電流密度:1A/m<sup>2</sup>

・コンクリート表面に電解質を介して外部電極を設置する  
・コンクリート中の鋼材を陰極として直流電流を流す  
・コンクリート中の塩化物イオンを陽極側へ**電気泳動**させて取り除く

②既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去（劣化因子の除去）

【脱塩工法】



外部電極の設置

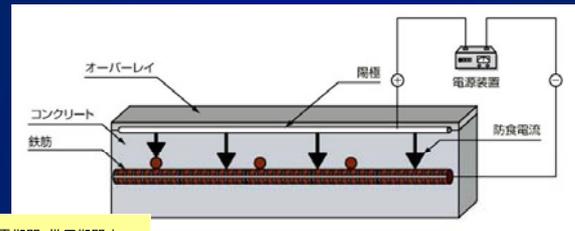


通電時の状況

・コンクリートをはつることなく、塩化物イオンのみ除去できる  
・かぶりコンクリートが比較的健全な場合に効果的  
・施工後は新たな塩化物イオンの浸入防止を目的として表面保護工を施す  
・PC構造物に適用する場合には、PC鋼材の水素脆化が生じないよう配慮が必要

③腐食が開始した鉄筋の腐食進行を抑制（鉄筋腐食の抑制）

【電気防食工法 — 外部電源方式】



通電期間:供用期間中  
電流密度:1~3 mA/m<sup>2</sup>

外部電源方式

・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

③腐食が開始した鉄筋の腐食進行を抑制（鉄筋腐食の抑制）

【電気防食工法 — 外部電源方式】



線状陽極材の設置例

面状陽極材の設置例

・供用期間中、防食電流を供給し続ける必要がある  
・適用後には**配電設備等の定期的なメンテナンス**が必要  
・PC構造物に適用する場合には、PC鋼材の水素脆化が生じないよう配慮が必要

③腐食が開始した鉄筋の腐食進行を抑制（鉄筋腐食の抑制）

【亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆】



亜硝酸リチウム40%水溶液

・亜硝酸リチウムには鉄筋腐食抑制効果がある

【使用方法】

・ひび割れ注入材と併用する  
・表面被覆材に混入する  
・断面修復材に混入する  
・内部圧入する

・各補修工法の本来の目的(劣化因子の遮断、除去)に加え、亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆効果を付与することができる

・詳細は後半にて！

**【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】**

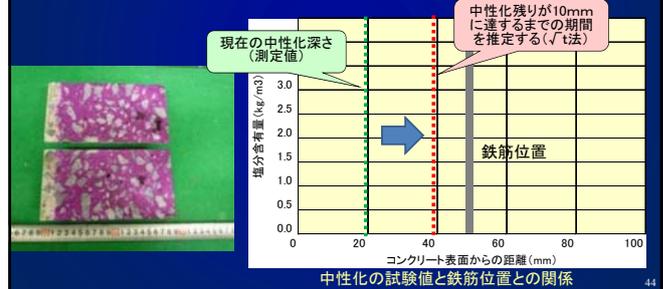
- ・中性化進行予測（ $\sqrt{t}$ 法）

43

**【③将来的な中性化の劣化予測】**

・ $\sqrt{t}$ 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



44

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

45

**【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）

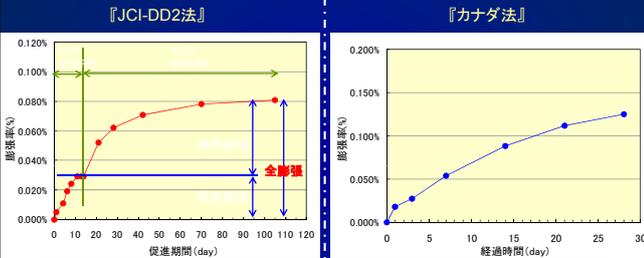
**【③将来的なASRの劣化予測】**

- ・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。）

46

**【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）



- ・環境：40℃、95%RH
- ・期間：3か月
- ・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

- ・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

47

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】

48

①外部からの水分の浸入を低減する（劣化因子の遮断）

【表面被覆工】



表面被覆工(無機系)



表面被覆工(有機系)

- ・コンクリート表面を有機系、無機系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(水分)の浸入を防ぐ
- ・水分を遮断することにより、アルカリシリカゲルの吸水膨張を抑制する
- ・ASR対策としての実績は最も豊富

- ・膨張に追随させるため、伸び能力の高い柔軟型の有機系被覆材を使用することも
- ・無機系被覆材+亜硝酸リチウムの組合せも可能

49

①外部からの水分の浸入を低減する（劣化因子の遮断）

【表面含浸工】



表面含浸工(シラン系)

- ・コンクリート表面にシランなどの撥水系表面含浸材を塗布することにより、表面から内部へ含浸させ、コンクリート表層部に撥水層を形成する
- ・外部からの水分を遮断する一方で、内部からの水分透散は阻害しない
- ・ASR対策としての実績が増えている
- ・劣化進行が比較的軽微な段階で適用すると効果が高い
- ・以後のモニタリングも容易

50

①外部からの水分の浸入を低減する（劣化因子の遮断）

【ひび割れ注入工】



自動低圧注入器(スプリング圧タイプ)



自動低圧注入器(ゴム圧タイプ)

- ・ひび割れを通じた劣化因子(水分)の侵入を遮断する
- ・セメント系、ポリマーセメント系、樹脂系などさまざまな種類がある
- ・膨張に追随させるため、伸び能力の高い樹脂系注入材を選定することも
- ・セメント系注入材+亜硝酸リチウムの組合せが可能

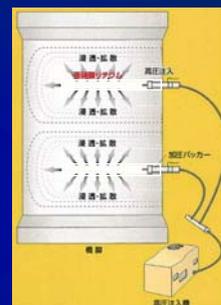
51

②アルカリシリカゲルの膨張性を低減する（ゲルの非膨張化）

【亜硝酸リチウム内部圧入工】



亜硝酸リチウム内部圧入工施工状況

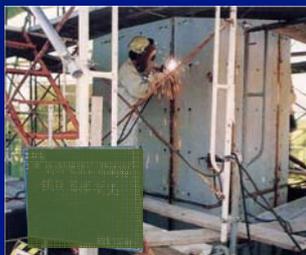


- ・コンクリート内部に亜硝酸リチウムを加圧注入し、アルカリシリカゲルにリチウムイオンを供給する
- ・リチウムイオンがアルカリシリカゲルを非膨張化するため、以後のASR膨張は抑制される
- ・詳細は後半にて！

52

③部材のASR膨張を拘束する（膨張の拘束）

【部材接着工法・巻立て工法】



鋼板巻立てによるASR膨張拘束

- ・部材の膨張を拘束するために、部材表面に鋼板、繊維シート、PCパネルなどを接着または巻立てる工法
- ・拘束効果を発揮できる形状か否かを検討する必要がある
- ・補修量の算定には詳細な検討が必要

53

【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～

平成23年度 改訂版

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/>

54

『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

### 3. 亜硝酸リチウムを用いた補修工法

#### 3.1 亜硝酸リチウムとは



亜硝酸リチウム40%水溶液

#### 亜硝酸リチウム

【Lithium Nitrite ; LiNO<sub>2</sub>】

- ・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<sub>2</sub><sup>-</sup>

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<sup>+</sup>

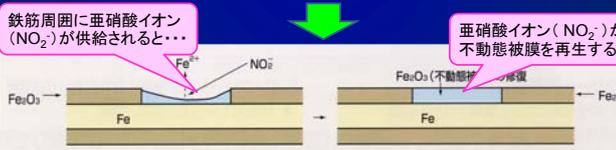
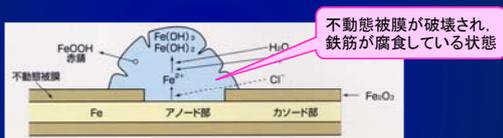
アルカリシリカゲルを  
非膨張化する

↓

『ASR対策』

#### 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制 ⇒ 不動態被膜再生

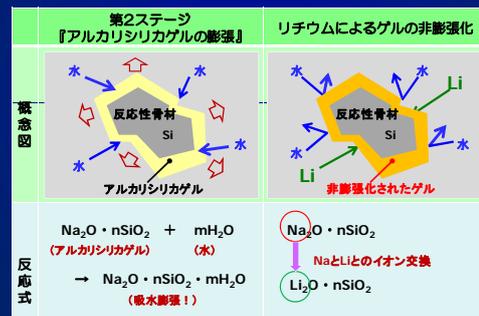
- ・塩害、中性化はいずれも不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題  
⇒ 塩害、中性化対策とは、共に鉄筋腐食を抑制すること
- ・亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告



亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)による不動態被膜再生メカニズム

#### リチウムイオンによるASR抑制効果 ⇒ ゲル非膨張化

- ・ASRI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<sup>+</sup>)のASR膨張抑制に関する研究は1950年代から多数報告



リチウムイオン(Li<sup>+</sup>)によるアルカリシリカゲルの非膨張化

**13<sup>th</sup> ICAAR TRONDHEIM 2008**  
**【第13回アルカリ骨材反応に関する国際会議】**



開催地  
ノルウェー(トロンハイム)

期間  
2008年6月16日~20日

参加国  
32ヶ国

論文発表数  
123編



**13<sup>th</sup> ICAAR 国際会議の様子**



**13<sup>th</sup> ICAAR 発表内容からみた海外でのリチウムの適用事例**



Figure 4 Summary: リチウム電気化学的浸透 (lithium, wood preservatives, etc. can be applied to the side of the column. A redstone time is being applied to the side of the column. Plastic sheeting is placed on all sides of the column. The gaskets under the sheeting collect excess lithium to be reused.)

リチウム内部圧入

リチウム真空注入

リチウム路面噴霧

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

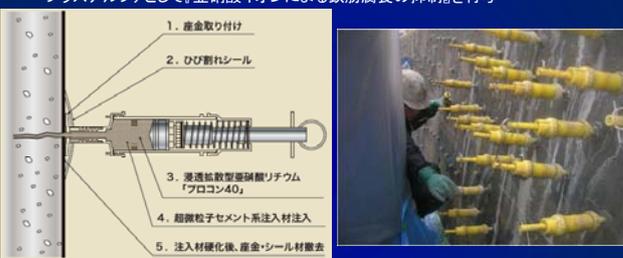
64

**【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. 産金取り付け
2. ひび割れシール
3. 浸透性数値型超微粒子リチウム「フロンコ40」
4. 超微粒子セメント系注入材注入
5. 注入材硬化後、産金・シール材撤去

- 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



### 亜硝酸リチウムによる塩害補修の設計(必要量算出)

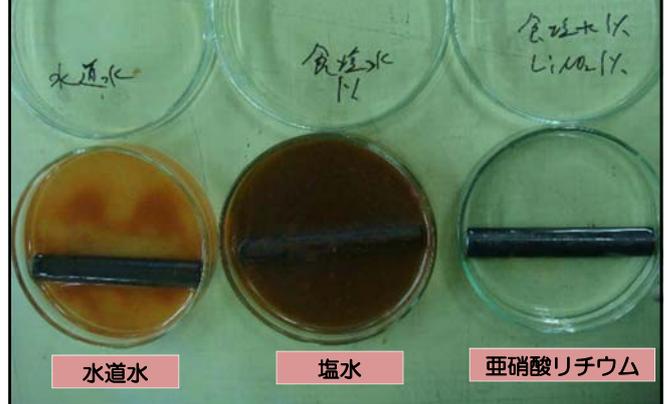


抑制根拠：亜硝酸イオンが不動態被膜を再生し、鉄筋腐食を抑制する  
 基本方針：不動態被膜を再生するために必要な亜硝酸イオンを供給する  
 【劣化要因が塩害の場合】  
 既往の研究により、以下の亜硝酸イオン量があればOK  
 $[NO_2^-] / [Cl^-]$  モル比 = 1.0となる量

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 <sup>3</sup>	1.97kg/m <sup>3</sup>	4.48kg/m <sup>3</sup>
	5.0kg/m <sup>3</sup>	7.47kg/m <sup>3</sup>	18.67kg/m <sup>3</sup>
	10.0kg/m <sup>3</sup>	14.94kg/m <sup>3</sup>	37.34kg/m <sup>3</sup>

73

### 亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆効果



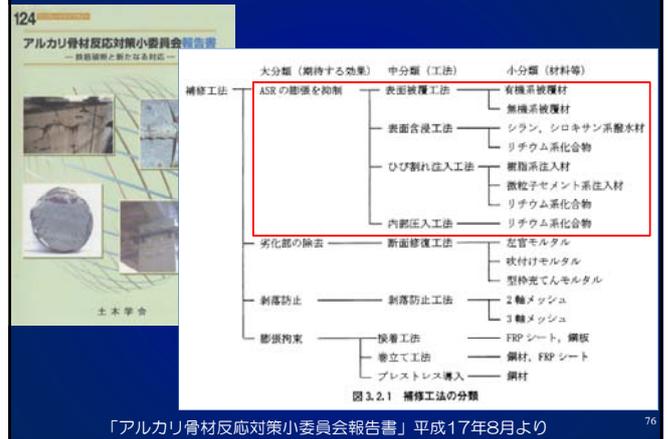
### 3.3 ASRの補修

技術資料 P.38~P.45



75

### ASR補修工法



「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書」平成17年8月より

76

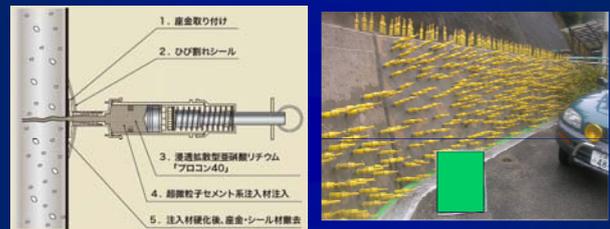
### 【ASR補修工法の種類と要求性能】

- 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】
    - シリコン系撥水材 (内部からの水分逸散)
    - 表面改質剤 (コンクリート表面部の緻密化)
  - 【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】

77

### 【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(水分)の遮断』 (NETIS:CG-110017-A)  
 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



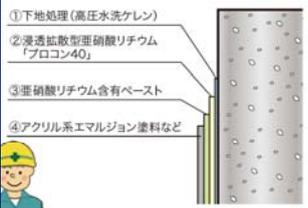
- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ ゲルの非膨張化
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

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

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



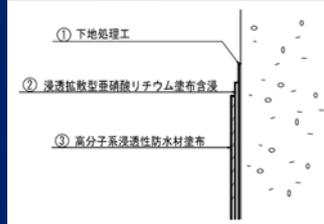
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ **ゲルの非膨張化**
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にてコンクリート表面をコーティングする ⇒ **ゲルの非膨張化、劣化因子の遮断**
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

79

### 【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



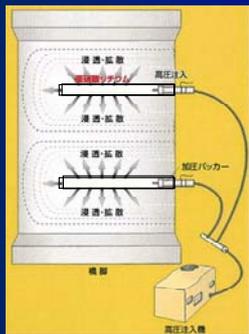
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ **ゲルの非膨張化**
- ③亜硝酸リチウムの溶出を防ぐために、浸透性防水材料を塗布する ⇒ **劣化因子の遮断**

コンクリート表層部にリチウムイオンを浸透させる

80

### 【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<sub>2</sub>
- 削孔径 : φ10mm, 20mm, 38mm
- 削孔間隔 : 500mm, 750mm, 1000mm
- 注入圧力 : 0.5MPa~1.5MPa
- 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、パッカーを設置して、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

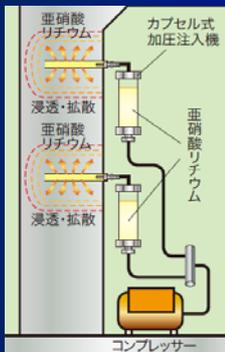
削孔箇所からコンクリート内部全体へリチウムイオンを圧入する

81



### 【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<sub>2</sub>
- 削孔径 : φ10mm
- 削孔間隔 : 500mm
- 注入圧力 : 0.5MPa~1.0MPa
- 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、カプセル式加圧装置、パッ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

83



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 



【内部圧入工の場合】

【ひび割れ注入・表面被覆工の場合】

亜硝酸リチウムの浸透範囲(ASR膨張抑制範囲)はコンクリート全体におよぶ。

亜硝酸リチウムの浸透範囲(ASR膨張抑制範囲)はコンクリート表層のみ。

・リチウムの浸透範囲が広い  
⇒ASR抑制効果の期待度が高い

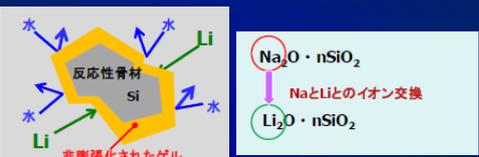
・ASR膨張性の大きい場合の対策として最も適する

・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

亜硝酸リチウムによるASR補修の設計(必要量算出)



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

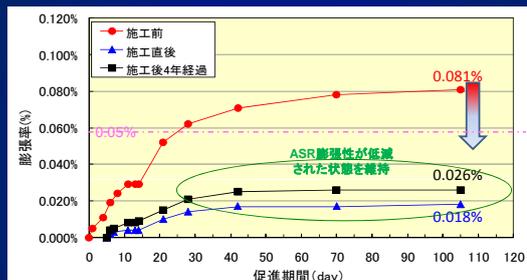
基本方針：ASRゲルを非膨張化するために必要なリチウムイオンを供給する

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<sup>+</sup>]/[Na<sup>+</sup>]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 <sup>3</sup>	4.10kg/m <sup>3</sup>	10.26kg/m <sup>3</sup>
	4.0kg/m <sup>3</sup>	5.47kg/m <sup>3</sup>	13.68kg/m <sup>3</sup>
	5.0kg/m <sup>3</sup>	6.84kg/m <sup>3</sup>	17.10kg/m <sup>3</sup>

参考：亜硝酸リチウムによるASR膨張抑制効果



・施工前(赤)と施工直後(青)を比較すると、リチウムイオン内部圧入工を施工することによりASR膨張性が低減されることがわかる。

・施工直後(青)と施工後4年経過時(黒)を比較すると、圧入後4年経過してもASR膨張性が低減された状態で維持されていることがわかる。

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耐荷力の回復、向上	・PRP接着 ・鋼板接着 ・外ケーブル ・巻立て ・増厚 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。

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



R/C床版の疲労<sup>※1</sup> 塩害<sup>※2</sup> アルカリ骨材反応<sup>※3</sup>

【対策事例】



炭素繊維シート接着工法 電気防食工法 リチウムイオン内部圧入工法

**亜硝酸リチウム含浸工法**

**コンクリート診断士試験 重要キーワード 100**

押さえておきたい用語を専門家が解説  
診断や対策の要点がよく分かる  
豊富な図や写真が理解を助ける

### 3.4 浸透拡散型亜硝酸リチウム

(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】

### 4.1 事例紹介

#### (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<sup>-</sup>)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)

#### (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)

#### (1) 断面修復工

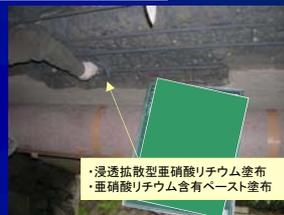
#### 【使用材料】

・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

#### (1) 断面修復工

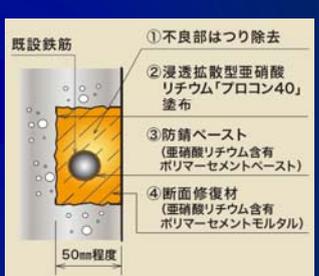
#### 【使用材料】

・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



**(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

浸透拡散型亜硝酸リチウムを含浸塗布



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

亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタルを塗布



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

97

**(2) 表面被覆工**

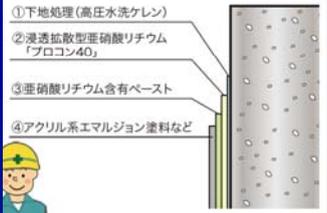
**【使用材料】**

- ・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



① 下地処理 (高圧水洗ケレン)

② 浸透拡散型亜硝酸リチウム「プロコン40」

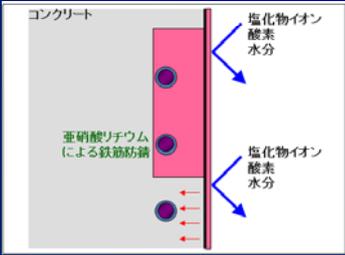
③ 亜硝酸リチウム含有ペースト

④ アクリル系エマルジョン塗料など

98

**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 酸素 水分

亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆

塩化物イオン 酸素 水分

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

99

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)

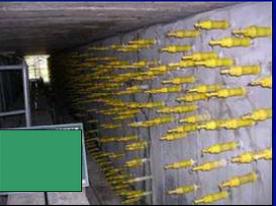
100

**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

101

**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。

102

**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

103

**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

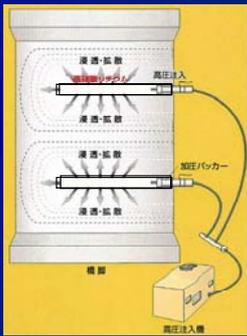
104

**リチウムイオン内部圧入工法**

**【使用材料】**  
・呈色反応試薬



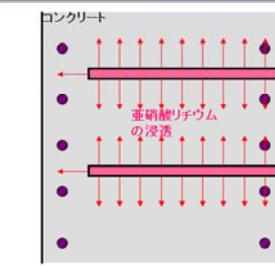
⑩浸透確認(呈色試験)  
隣り合う圧入孔の中間でコアを採取し、呈色反応試験を行って亜硝酸リチウムの浸透を確認する



105

**期待されるASR抑制効果**

・圧入されたリ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

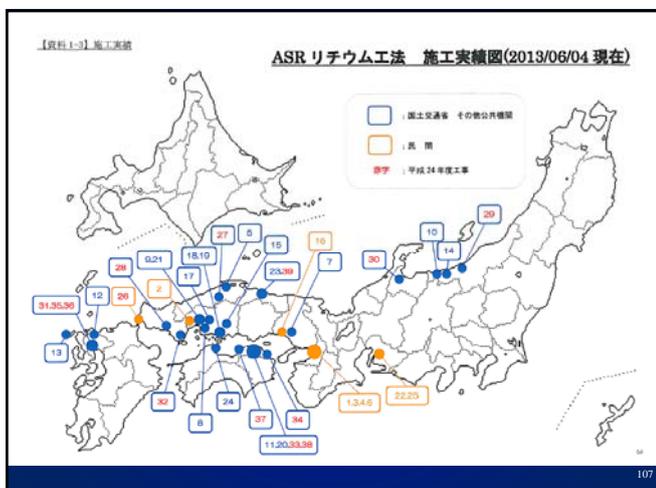
ゲルの膨張性を消失させるため、以後の水分供給があっても再劣化しない

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.asril.jp>)もご参照ください。

106



**亜硝酸リチウム内部圧入工法の適用事例**

**【その1 山内高架橋 (橋台・橋脚)】… ASR対策**

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10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/mm<sup>2</sup>  
アルカリ総量 2.1～3.1kg/m<sup>3</sup>

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。

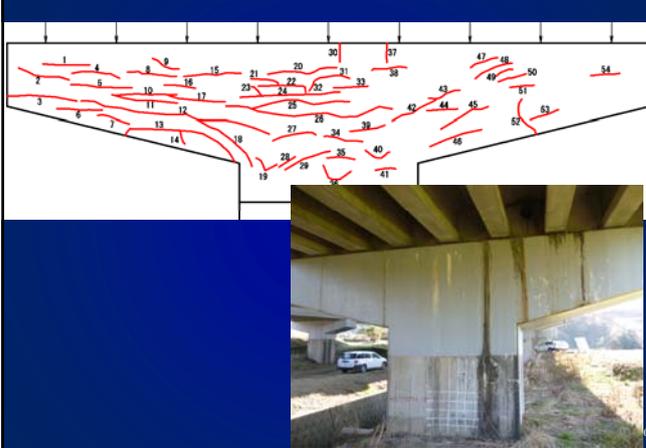
採用理由…JRを跨ぐ重要度の高い連続高架橋で、これ以上再劣化を許容できない

108

【山内高架橋の劣化状況】

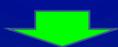


【山内高架橋の劣化状況（ひび割れ損傷図）】



【山内高架橋 亜硝酸リチウム内部圧入の採用理由】

- 過去の補修が再劣化
  - ・・・従来の補修工法では本橋のASRを抑制することができなかった。
- 残存膨張量大きい
  - ・・・今後もASR膨張はさらに進行することが予測される。
- 重要度が高い
  - ・・・交通量も多く、JRを跨ぐ重要構造物であるため、これ以上の耐久性能低下を許容できない。



ASR膨張を根本的に抑制できる工法を適用すべき

111

【山内高架橋 現場見学会 7/17開催】

参加者 午前の部 79名  
午後の部 73名



112

亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その2 一ツ橋（橋台・橋脚）】・・・ ASR対策

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

113

亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その3 湯村大橋（A1橋台）】・・・ ASR対策

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

114

### 亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

【その4 一の宮橋 (RC床版、橋台バラベット)】 …… 塩害対策

名称： 県道東郷羽合線(一の宮橋)橋梁補修工事  
 場所： 鳥取県  
 施工： 現在施工中  
 発注： 鳥取県中部総合建設事務所



外観変状： 鉄筋に沿ったひび割れ。一部には錆汁、浮きはく離も見られる。  
 はつり調査の結果、軽微な断面減少にまで進行した鉄筋腐食が見られた。  
 塩化物イオン量： 橋台 …… 1.4kg/m<sup>3</sup> (内在塩分の可能性大)  
 RC床版 …… 3.0kg/m<sup>3</sup> (内在塩分の可能性大)

採用理由…高い内在塩分と鉄筋腐食が確認されたため、劣化因子遮断では不十分



### おわりに

例えば、乾燥収縮ひび割れに対して、



・ひび割れから劣化因子が浸入  
 ・鉄筋腐食のリスクは高まる



亜硝酸リチウムによる  
ひび割れ注入

### コンクリートメンテナンス協会の役割

- ・補修工法、補修材料は多数存在する
- ・それらの知識を正しく吸収することは重要
- ・良い技術はこの協会のフォーラムでも随時紹介

例)

亜硝酸リチウム関連技術  
 塗膜型剥落防止システム  
 鋼製支承の金属溶射(狭隙部対応)

#### 支承リバイバルシステム

～既設鋼支承を金属溶射するコンクリートメンテナンス協会～  
 ～高品質の材料の供給で安全信頼性の確保～  
 ～特殊ノズルで高圧高流量の溶射を実現可能な鋼製支承の劣化防止～  
 ～狭隙部を確実に溶射するための特殊ノズル～

(NETS) (特許)

従来の溶射方法では、狭隙部への溶射が困難で、溶射が不十分であった。本システムは、特殊ノズルを用いて、狭隙部へ高圧高流量の溶射を実現し、鋼製支承の劣化防止を実現する。

取付簡単かつ、溶射作業も安全で、狭隙部への溶射が可能な特殊ノズル。150mm以上の作業スペースがあれば施工可能。

溶射部用特殊ノズル

一般社団法人 コンクリートメンテナンス協会  
 〒650-0001 兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番1号  
 TEL: 078-242-2200 FAX: 078-242-2201  
 E-MAIL: info@cmca.or.jp

#### 特殊ノズルが作業効率を格段にUP!

作業距離に150mm以上の作業スペースがあれば施工可能

【工 程 特 徴】  
 ◆作業距離により、長期耐久劣化性能が向上、工費が少なくなる(工費削減効果あり)  
 ◆作業距離が長い場合、高圧高流量の溶射が可能

【実 績 特 徴】  
 ◆高圧高流量の溶射により、狭隙部への溶射が容易に実現可能  
 ◆高圧高流量の溶射により、狭隙部への溶射が容易に実現可能  
 ◆高圧高流量の溶射により、狭隙部への溶射が容易に実現可能

【現場でも同時施工】  
 ◆狭隙部だけでなく、現場でも同時施工が可能  
 ◆狭隙部だけでなく、現場でも同時施工が可能

【劣 化 部 域 補 修 可 能】  
 ◆劣化部域を確実に補修可能

【施 工 方 法】

- 1 鋼 工 程
- 2 鋼製支承材料の注入
- 3 プラスト処理 (高圧高流量)
- 4 塗膜材料
- 5 コーティング

ダイクレ興産株式会社 管理職工場  
 〒650-0001 兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番1号  
 TEL: 078-242-2200 FAX: 078-242-2201

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**