

# 『コンクリートの劣化と 補修工法選定の考え方』

～亜硝酸リチウムを用いた補修技術～

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

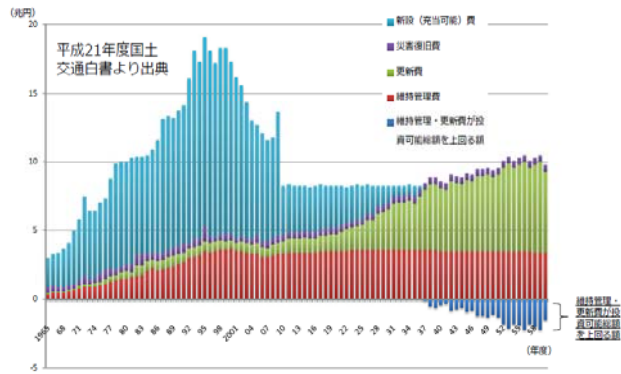
## 主な講演内容

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  
補修工法の種類と要求性能
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

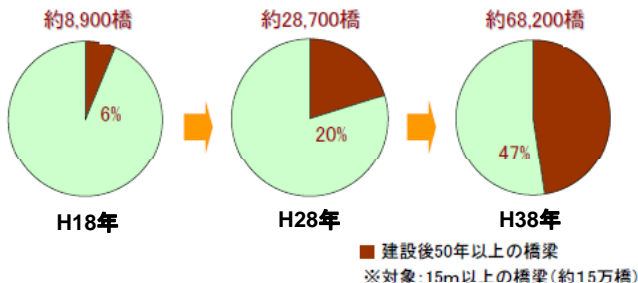
## はじめに

## 維持管理・更新費の推計 (従来通りの維持管理・更新をした場合)

今後の投資可能総額の伸びが2010年度以降対前年度比40%で、維持管理・更新に関して今まで通りの対応をした場合、維持管理・更新費が投資総額に占める割合は、2010年度時点で50%であるが、2037年度時点で投資可能総額を上回る。



## 建設後50年以上の橋梁の推移



『道路の中期計画(素案)』平成19年11月 (ほか)

## 橋やトンネル 定期点検を義務化へ

NHK NEWSWEB



## 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

7

## 1. コンクリート構造物の主な劣化

8

### 1.1 塩害

#### 原因

- ・種々の原因で塩分がコンクリート中に浸入
- ・浸入した塩分は、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
- ・塩化物イオンが鉄筋位置に到達

#### 劣化進行

- ・鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量を超えると、鉄筋の不動態皮膜が破壊され、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

9

#### 塩分の侵入

- ・沿岸地域における飛来塩分の浸透(外来塩分)
- ・山間部積雪地帯における凍結防止剤の散布(外来塩分)
- ・洗浄不十分な海砂の使用(内在塩分)

#### 腐食発生限界塩化物イオン濃度

- ・鋼材位置におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度が  $1.2\text{kg/m}^3$  を超えると、鉄筋の腐食がはじまる

数値の変更

#### 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。

10

### コンクリート標準示方書[維持管理編](土木学会)の改訂



2012年制定 [設計編]



2013年制定 [維持管理編]

11

### コンクリート標準示方書[維持管理編](土木学会)における塩化物イオンの『腐食発生限界濃度』に関する記述

#### 【2007年制定 維持管理編における記述】

- ・構造物の点検結果から腐食発生塩化物イオン濃度を求めることを原則
- ・それらで求められない場合には、 $1.2\text{kg/m}^3$ とみなしてもよい

#### 【2013年制定 維持管理編における記述】

- ・構造物の点検結果から腐食発生塩化物イオン濃度を求めることを原則
- ・それによらない場合には、類似構造物の点検結果に基づいて求める
- ・なお、港湾構造物では $2.0\text{kg/m}^3$ とすることが多い
- ・類似の構造物の点検結果がない場合には、セメントの種類や水セメント比を確認したうえで以下の式にて算出してもよい

普通ポルトランドセメントを用いた場合

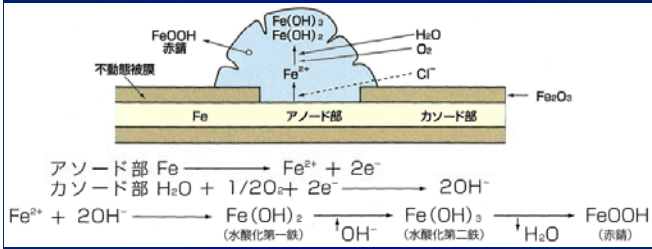
$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$$

例)  $W/C=0.3$ のとき、 $2.5\text{kg/m}^3$

$W/C=0.55$ のとき、 $1.75\text{kg/m}^3$

12

## 【鉄筋の腐食】



- アノード反応：電子2個を鉄筋中に残し、鉄がイオンとなって溶出する反応
- カソード反応：アノード反応によって生じる電子を消費する反応

この2種類の反応が同時に起こるのが鉄筋腐食反応

13

## 【塩害による劣化事例】

技術資料P.4



床版下面の錆汁



コンクリートのはく離・はく落

- ・沿岸部にある海洋構造物
- ・飛来塩分による塩害

- ・河口付近にある道路橋
- ・飛来塩分による塩害
- ・一部、コンクリートがはく離して鉄筋が露出している

14

技術資料P.4



主桁下面の鉄筋腐食



補修箇所の再劣化

- ・平野部にあるPC上部工
- ・凍結防止剤による塩害
- ・鉄筋だけでなく、PC鋼材も腐食しており、一部には破断も認められた
- ・耐久性のみならず、耐荷性能までも著しく低下している

- ・過去に鋼板接着+表面被覆による補修、補強がなされている
- ・鉄筋腐食が再び進行し、鉄筋位置にてコンクリートがはく離している

15

## 【塩害の劣化過程】

技術資料P.5

表 2-1 塩害を受ける鉄筋コンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以下。
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない。腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始。
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生。錆汁が見られる。
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの幅や長さが大きく多数発生。腐食ひび割れの進展に伴うかぶりコンクリートの部分的なはく離・はく落が見られる。鋼材の著しい断面減少は見られない。
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う大規模なはく離・はく落が見られる。鋼材の著しい断面減少が見られる。変位・たわみが大きい。

出典：「2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 土木学会」

16

## 1.2 中性化

技術資料P.15

### 原因

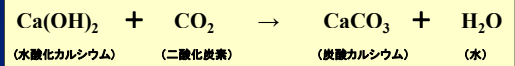
- ・大気中の二酸化炭素がコンクリート中(pH=12以上)に浸入
- ・コンクリート中の水酸化カルシウムが二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを生成
- ・その結果、コンクリート中のpHが低下(pH=11以下)する

### 劣化進行

- ・中性化は一般的にコンクリート表面から進行する
- ・中性化が鉄筋付近まで到達すると、鋼材の不動態皮膜が破壊され、鉄筋が腐食する
- ・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

17

### 中性化の反応



### 中性化の影響範囲

中性化残りが10mmよりも小さくなったら、その鉄筋は腐食環境にある(塩化物イオンの影響がある構造物では15mmとされる)

#### 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。

18

### 【中性化による劣化事例】

技術資料P.16



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CO<sub>2</sub>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不足
- ・早期に中性化領域が鉄筋位置に到達

### 【中性化の劣化過程】

技術資料P.16

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	外観上の変化が見られない、中性化残りが発錆限界以上。
グレードⅡ	進展期	外観上の変化が見られない、中性化残りが発錆限界未満、腐食が開始。
グレードⅢ-1	加速期前期	腐食ひび割れが発生。
グレードⅢ-2	加速期後期	腐食ひび割れの進展とともにはく離・はく落が見られる。鋼材の断面欠損は生じていない。
グレードⅣ	劣化期	腐食ひび割れとともにはく離・はく落が見られる。鋼材の断面欠損が生じている。

出典：「2013年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 土木学会」

### 1.3 アルカリシリカ反応(ASR)

技術資料P.26

#### 原因

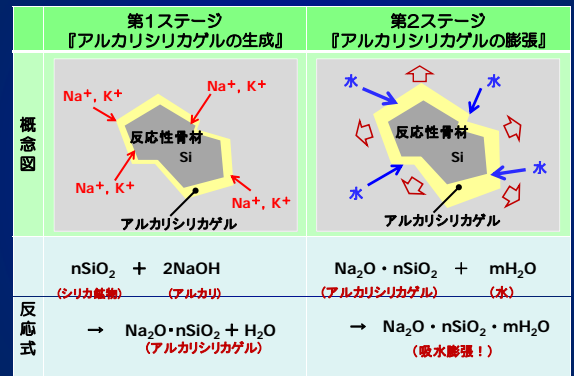
- ・コンクリート中は高アルカリ環境である
- ・コンクリート構造物は、雨水や地下水などにより水分を供給されやすい
- ・コンクリートの粗骨材として、アルカリ、水と反応して膨張する性質の反応性骨材が使用されることがある

#### 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

#### ASR劣化の進行過程

技術資料P.26



### 【ASRによる劣化事例】

技術資料P.27



擁壁のASR劣化

- ・亀甲状のひび割れ



橋台のASR劣化

- ・亀甲状のひび割れ
- ・表面からは雨水、背面から地下水伸縮継手からは橋面水が供給
- ・橋台の両端部(雨がかり)の進行が著しい場合がある



橋脚のASR劣化

- ・亀甲状のひび割れ
- ・白色ゲル析出
- ・表面からは雨水、伸縮継手からは橋面水が供給



ASRによる鉄筋破断

- ・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

## 【ASRによる再劣化事例】

技術資料P.28



### 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、はり天端は桁や支承、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

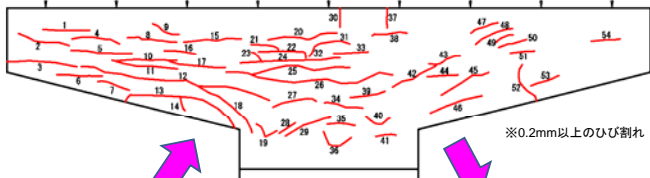
25

## 【橋脚のASR再劣化事例(表面被覆の下は・・・?)】



26

## 【橋脚のASR再劣化事例(表面被覆を剥がしてみると・・・!)】



27

## 【ASRの劣化過程】

技術資料P.29

表 2-3 ASRによる構造物の外観上のグレードと劣化の状態		
構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れがまだ発生せず、外観上の変状が見られない。
グレードⅡ	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られる。しかし、鋼材腐食による錆汁は見られない。
グレードⅢ	加速期	ASRによる膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが進展し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食による錆汁が見られる場合もある。
グレードⅣ	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、ずれや、かぶりの部分的なはく離・はく落が発生する。鋼材腐食が進行し錆汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

出典:「2013年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]」

28

## 2. 劣化要因に応じた 補修工法選定の考え方

29

## 2.1 塩害の補修

技術資料P.6

### 【塩害】補修工法の種類と要求性能

- ①劣化因子の遮断  
(コンクリート中への塩化物イオン、水、酸素の侵入を低減)  
【表面被覆工法】  
【表面含浸工法】  
【ひび割れ注入工法】
- ②劣化因子の除去  
(既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを除去)  
【全断面修復工法】  
【脱塩工法】
- 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】  
【亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆】

30

### ①劣化因子の遮断

技術資料P.7

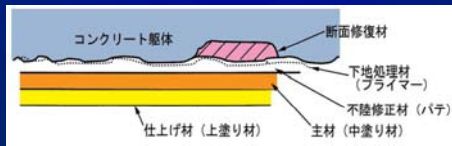
#### 【表面被覆工法】



・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



31

### ①劣化因子の遮断

技術資料P.7

#### 【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 : シラン系など  
・ぜい弱部の強化 : けい酸塩系など

32

### ①劣化因子の遮断

技術資料P.8

#### 【ひび割れ注入工法】



自動低圧注入器による注入状況

・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

・適用可能なひび割れ幅  
0.2mm～30.0mm

#### ※ひび割れ注入工とひび割れ充填工

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

33

### ②劣化因子の除去

技術資料P.9

#### 【部分断面修復】



・鉄筋腐食によるコンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出が発生

・それらの変状箇所を部分的にはつり取り、断面修復材にて埋め戻す

・はつりとっ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

#### 【全断面修復】



・鉄筋位置での塩化物イオン濃度が腐食発生限界を超えている

・かぶり範囲のコンクリートを全てはつり取り、断面修復材にて埋め戻す

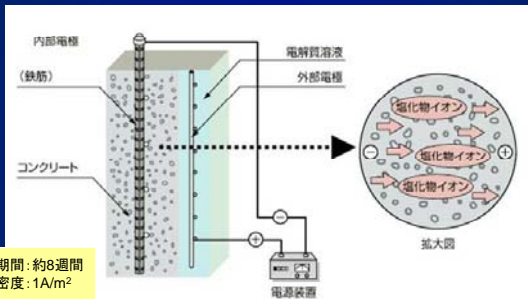
・「劣化因子の除去」という要求性能を満たすための断面修復工法はこの全断面修復工法を指す

34

### ②劣化因子の除去

技術資料P.10

#### 【脱塩工法】



通電期間：約8週間  
電流密度：1A/m<sup>2</sup>

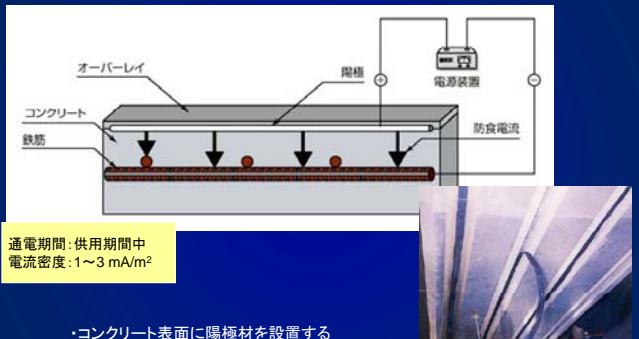
- ・コンクリート表面に電解質を介して外部電極を設置する
- ・コンクリート中の鋼材を陰極として直流電流を流す
- ・コンクリート中の塩化物イオンを陽極側へ電気泳動させて取り除く

35

### ③鉄筋腐食の抑制

技術資料P.11

#### 【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>

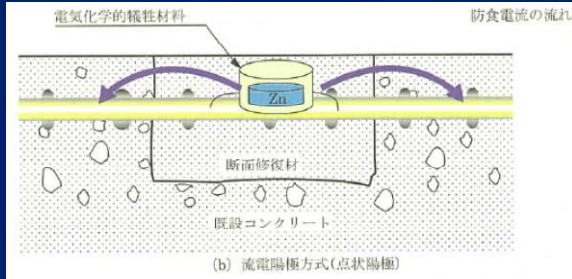
- ・コンクリート表面に陽極材を設置する
- ・コンクリート中の鋼材を陰極として直流電流（防食電流）を流す
- ・この防食電流が流れている期間は鋼材の腐食が進行しない

36

### ③鉄筋腐食の抑制

技術資料P.11

#### 【電気防食工法 — 流電陽極方式】



- ・外部電源不要
- ・犠牲陽極材と鉄筋の金属的性質の違いにより防食電流が自然に流れる
- ・犠牲陽極材の寿命は15～20年とされている
- ・断面修復部のマクロセル腐食抑制としての適用も多い

37

### ③鉄筋腐食の抑制

技術資料P.12

#### 【亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆】



・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!

38

## 2.2 中性化の補修

技術資料P.17

### 【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)

- 【表面被覆工法】
- 【表面含浸工法】
- 【ひび割れ注入工法】

#### ②中性化領域の回復

(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)

- 【電気防食工法】\*
- 【鉄筋防錆材(亜硝酸リチウム)の活用】

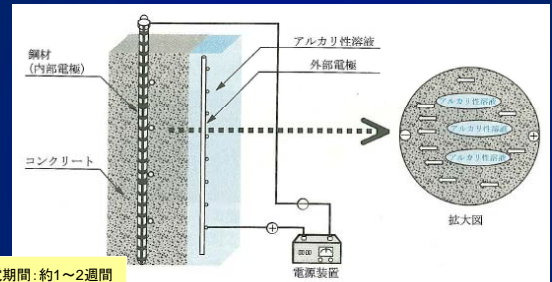
\*劣化進行が早い場合に適用される

39

### ②中性化領域の回復

技術資料P.21

#### 【再アルカリ化工法】



通电期間: 約1～2週間  
電流密度: 1A/m<sup>2</sup>

- ・コンクリート表面にアルカリ性溶液を介して外部電極(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を流す
- ・アルカリイオンを陰極側へ電気泳動させてアルカリ性を回復させる

40

## 2.2 ASRの補修

技術資料P.30

### 【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)

- 【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

(アルカリンリカゲルの膨張性を消失、低減)

- 【内部圧入工法】

#### 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】

41

### ①劣化因子の遮断

技術資料P.31

#### 【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、アルカリン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

- ・膨張に追いつけるため、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

42

①劣化因子の遮断  
【表面含浸工法】

技術資料P.31



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、内部からの水分逸散は阻害しない
- ・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

43

①劣化因子の遮断  
【ひび割れ注入工法】

技術資料P.32



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

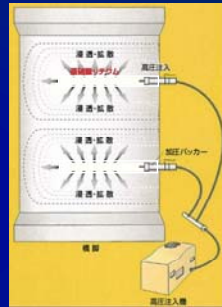
44

②ゲルの非膨張化  
【内部圧入工法】

技術資料P.33



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！

45

### 3. 亜硝酸リチウムを用いた補修技術

46

#### 3.1 亜硝酸リチウムとは

技術資料P.37



亜硝酸リチウム40%水溶液

47

#### 亜硝酸リチウム

【Lithium Nitrite ;  $\text{LiNO}_2$ 】

- ・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」、「ロシア輝石」
- ・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  
 $\text{NO}_2^-$

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  
 $\text{Li}^+$

アルカリシリカゲルを  
非膨張化する

↓

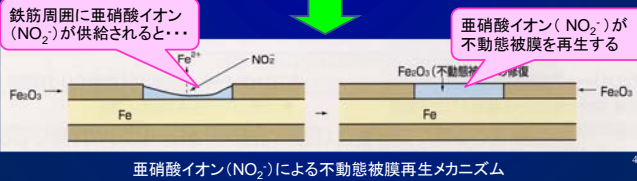
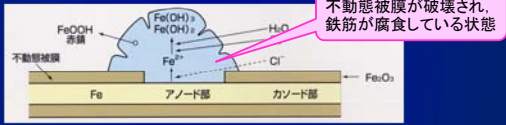
『ASR対策』

48



### 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

- ・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<sup>+</sup>)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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \text{ (水)} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} \text{ (吸水膨張!)}$	$\text{Na} \text{ と } \text{Li} \text{ のイオン交換}$ $\text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

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

### 3.2 塩害・中性化の補修

技術資料P.41



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

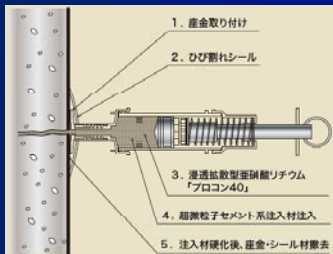
### 【塩害補修工法の種類と要求性能】

- 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】

### 【ひび割れ注入工法】・・・リハビリリンダー工法

技術資料P.46

『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

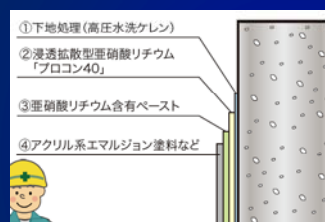


- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

### 【表面被覆工法】

技術資料P.45

『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

**【表面含浸工法】**

技術資料P.44

『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

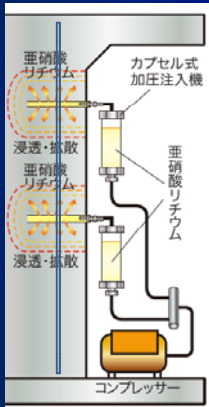


- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムの溶出防止および塩化物イオンの侵入を抑制するためにケイ酸リチウムを塗布する

**【亜硝酸リチウム内部圧入工法】・・・リハビリカプセル工法**

技術資料P.45

『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』 (NETIS:CG-120005-A)

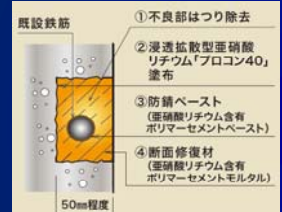


- ①コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を行う
- ②小型の加圧装置を設置して亜硝酸リチウム水溶液を内部圧入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③所定の量の亜硝酸リチウムを鉄筋周囲のコンクリートに圧入した後、削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

**【断面修復工法】**

技術資料P.49

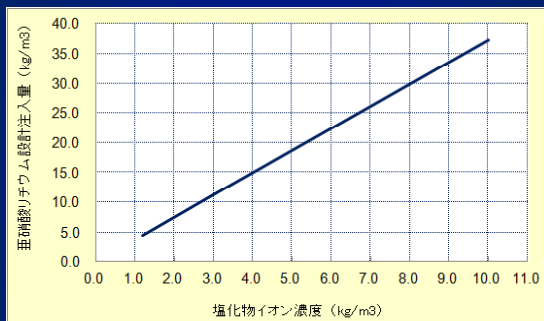
『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』  
『コンクリート劣化部の除去』およびそれに伴う『内部の塩化物イオンの除去』



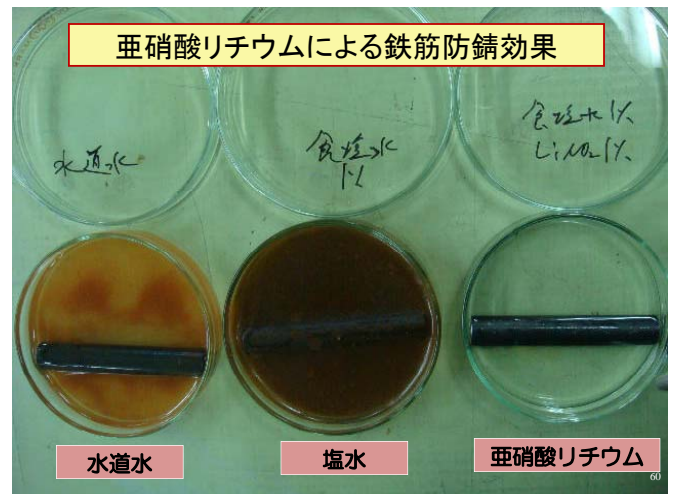
- ①かぶりコンクリートの不良部をはつりとり、鉄筋を露出させる
- ②露出した鉄筋の錆をケレンした後、防錆ベーストとして亜硝酸リチウム含有モルタルを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタルにて断面欠損部を修復する

**【亜硝酸リチウム必要量の算定(塩害の場合)】**

技術資料P.48



・亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>モル比)が1.0となる量



### 3.3 ASRの補修

技術資料P.50

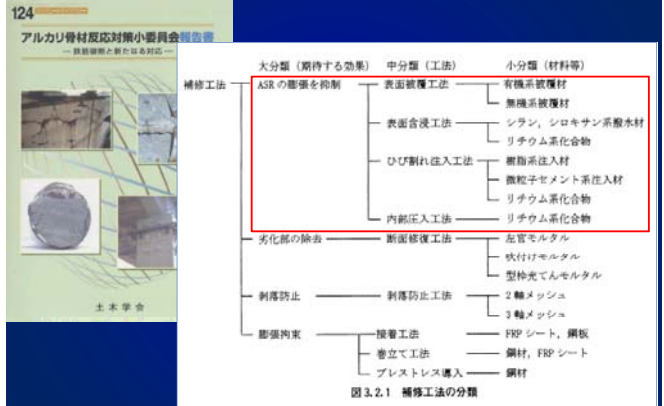


ひび割れ注入工

内部圧入工

61

### 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

62

### 【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】

シラン系撥水材 (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】

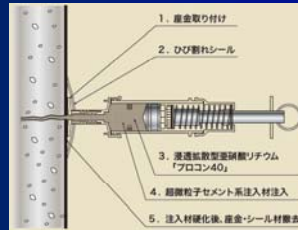
63

技術資料P.58

### 【ひび割れ注入工法】・・・リハビリリンダー工法

(NETIS:CG-110017-A)

『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



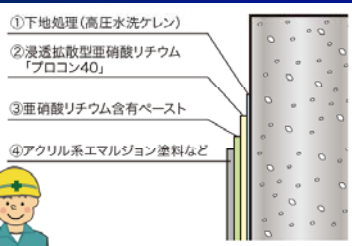
- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ ゲルの非膨張化
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

64

### 【表面被覆工法】

技術資料P.57

『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



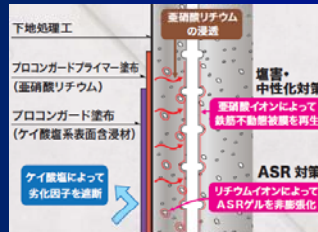
- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ ゲルの非膨張化
- ③亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタル系表面被覆材にてコンクリート表面をコーティングする ⇒ ゲルの非膨張化、劣化因子の遮断
- ④被覆層の保護のために、上塗りを行う

65

技術資料P.56

### 【表面含浸工法】

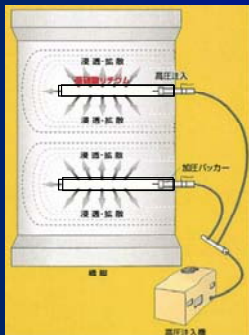
『表面含浸材による劣化因子(水分)の遮断』  
プラスアルファとして『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』を部分的に付与



- 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亜硝酸リチウムの溶出防止および水分の侵入を防ぐために、ケイ酸リチウムを塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

66

技術資料P.59  
**【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)



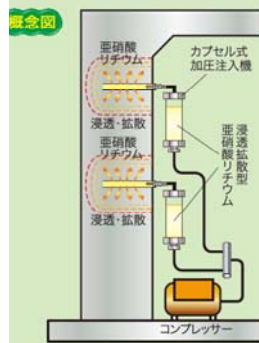
・コンクリートに削孔して、亜硝酸リチウム40%水溶液を加圧注入。

注入量 : Li/Naモル比0.8~1.0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 : 10日~60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加圧装置、配管、パッカーを設置して亜硝酸リチウム水溶液をコンクリート内部へ加圧注入する
- 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

67

技術資料P.60  
**【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。

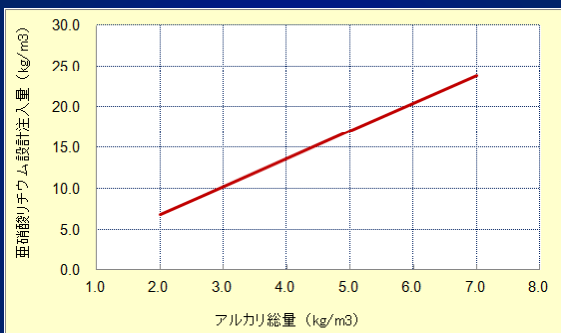
・小規模施工において経済性向上

注入量 : Li/Naモル比0.8~1.0となるLiNO<sub>2</sub>  
 削孔径 : φ10mm, 20mm  
 削孔間隔 : 300mm~500mm  
 注入圧力 : 0.5MPa~1.0MPa  
 注入期間 : 4日~10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、配管、パッカーを設置して亜硝酸リチウム水溶液をコンクリート内部へ加圧注入する
- 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

68

技術資料P.61  
**【亜硝酸リチウム必要量の算定(ASRの場合)】**



・リチウムイオンとナトリウムイオン(等価アルカリ量)のモル比(Li<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>モル比)が0.8となる量

69

技術資料P.67  
**3.5 事例紹介**

(1) 塩害で劣化した橋台の補修

採用された工法 : 表面含浸工法『プロコンガードシステム』  
 (亜硝酸リチウム系+ケイ酸リチウム系)

【対象構造物】

- ・山間部にあるRC橋台

【塩害による劣化状況】

- ・幅0.1~0.2mmのひび割れ
- ・塩化物イオン含有量1.8kg/m3
- ・鉄筋腐食度はごく軽微

【塩害の抑制方針】

- ・劣化因子の遮断
- ・将来的な鉄筋腐食抑制(不動態被膜再生)



①下地処理工

コンクリート表面を高圧洗浄し、表面の汚れや油分などを除去する

70

表面含浸工

【使用材料】

- ・亜硝酸リチウム系表面含浸材『プロコンガードプライマー』



亜硝酸リチウム系表面含浸材『プロコンガードプライマー』

②亜硝酸リチウム系含浸材塗布

「プロコンガードプライマー」をローラーにて塗布し、内部へ含浸させる



③養生工

「プロコンガードプライマー」塗布完了後、12時間以上の養生期間をおく

71

表面含浸工

【使用材料】

- ・ケイ酸リチウム系表面含浸材『プロコンガード』



ケイ酸リチウム系表面含浸材『プロコンガード』

④ケイ酸リチウム系含浸材塗布

「プロコンガード」をローラーで塗布し、内部へ含浸させる



⑤施工完了

72

『プロコンガードシステム』で期待される塩害抑制効果

- ・1層目の亜硝酸リチウム系含浸材  
⇒ 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
- ・2層目のケイ酸リチウム系含浸材  
⇒ 塩化物イオン、水、酸素等の劣化因子を遮断

下地処理工  
プロコンガードプライマー塗布 (亜硝酸リチウム)  
プロコンガード塗布 (ケイ酸塩系表面含浸材)

亜硝酸リチウムの浸透

塩害・中性化対策  
亜硝酸イオンによって鉄筋不動態被膜を再生

ASR対策  
リチウムイオンによってASRゲルを非膨張化

ケイ酸塩によって劣化因子を遮断

・劣化程度が軽微な場合  
・将来的な鉄筋腐食を抑制する場合

主に**予防保全的**な使い方が効果的

73

技術資料P.69

(2) 塩害で劣化したRC床版の補修

採用された工法：亜硝酸リチウム内部圧入工法『リハビリカプセル工法』

【対象構造物】  
・鋼橋のRC床版

【塩害による劣化状況】  
・幅0.1～0.4mmのひび割れ  
・塩化物イオン含有量3.0kg/m<sup>3</sup> (内在塩分の可能性大)  
・鉄筋腐食により一部断面欠損

【塩害の抑制方針】  
・鉄筋腐食抑制 (不動態被膜の再生)

①着工前(劣化状況)

74

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【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

75

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【使用機材】  
・鉄筋探査機、ダイヤモンドコアドリル(φ10mm)

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、φ10mmのコア削孔を行う。本橋では削孔ピッチを500mm間隔とした。

76

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【使用機材】  
・カプセル式圧入装置

⑥加圧パッカーの設置  
全圧入孔に加圧パッカー(接続用治具)を設置する。

⑦リハビリカプセル設置工  
加圧パッカーにカプセル式圧入装置(リハビリカプセル)を設置し、圧入ホースと接続する

77

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【使用材料】  
・浸透拡散型亜硝酸リチウム40%水溶液

浸透拡散型亜硝酸リチウム『プロコン40』

『リハビリカプセル』

⑧内部圧入工  
所定量の浸透拡散型亜硝酸リチウムを加圧注入する。  
圧入対象はコンクリート表層150～200mm

⑨圧入孔充填工  
圧入完了後、配管を撤去し、エポキシ樹脂または無収縮グラウト材にて圧入孔を充填する

78

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【使用材料】

- ・高分子浸透性防水材



⑩表面保護工

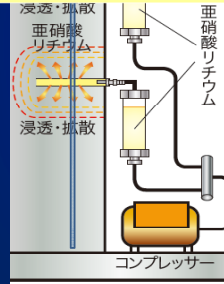
コンクリート内部への劣化因子の侵入抑制のため、表面含浸工または表面被覆工による表面保護を行う



⑪施工完了

『リハビリカプセル工法』で期待される塩害抑制効果

- ・コンクリート表層部150～200mmの範囲に浸透した亜硝酸リチウム  
⇒ 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
- ・コンクリート表面の表面保護工  
⇒ 施工後の塩化物イオンの侵入を遮断(イオンバランスを保つ)



- ・塩分濃度が高い場合
- ・鉄筋腐食が進行している場合
- ・直ちに鉄筋を防錆したい場合

根本的な鉄筋腐食抑制効果

(3)ASRで劣化した擁壁の補修

採用された工法 : ひび割れ注入工法+表面被覆工法  
『リハビリシリンダー工法』

【対象構造物】

- ・擁壁

【ASRによる劣化状況】

- ・亀甲状ひび割れ発生
- ・最大ひび割れ幅:3.0mm

【ASRの抑制方針】

- ・外部からの水分供給の遮断
- ・アルカリシリカゲルの非膨張化



①着工前(劣化状況)

(1)ひび割れ注入工

【使用材料】

- ・超微粒子セメント系ひび割れ注入材
- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム



②下地処理(高圧洗浄)

コンクリート表面を高圧洗浄する



③自動低圧注入器の設置

自動低圧注入器『リハビリシリンダー』を250mm間隔で設置し、注入器の間のひび割れをシールする

(1)ひび割れ注入工

【使用材料】

- ・超微粒子セメント系ひび割れ注入材
- ・浸透拡散型亜硝酸リチウム



④先行注入(亜硝酸リチウム水溶液)

浸透拡散型亜硝酸リチウムを先行注入し、ひび割れ面をプレウエッティングする



⑤本注入(超微粒子セメント系注入材)

先行注入の後、超微粒子セメント系ひび割れ注入材をひび割れに本注入する

(1)ひび割れ注入工

【使用機材】

- ・ディスクサンダー



⑥注入器撤去

注入器を撤去し、ディスクサンダーにて表面を平滑に仕上げる




⑦ひび割れ注入工完了

ひび割れからの水分浸入を遮断、ひび割れ周辺のゲルを非膨張化

(2) 表面被覆工

**【使用材料】**  
 ・ポリマーセメントモルタル系表面被覆材  
 ・亜硝酸リチウム

亜硝酸リチウム系含浸材  
 『フロンガードプライマー』



⑧ 亜硝酸リチウム塗布

亜硝酸リチウム系含浸材をコンクリート表面に塗布し、含浸させる


⑨ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト塗布

あポリマーセメントモルタル系表面被覆材に亜硝酸リチウムを混入し、コンクリート表面に塗布する

85


(2) 表面被覆工

**【使用材料】**  
 ・ポリマーセメントモルタル系表面被覆材  
 ・亜硝酸リチウム



⑩ 上塗り

アクリルウレタン系塗装材や高分子系浸透性防水材料などを用いて表面保護



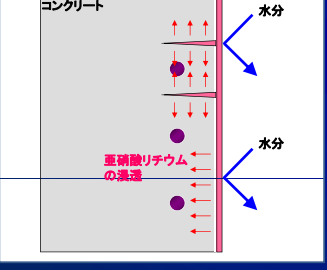
⑪ 施工完了

表面からの水分浸入を遮断  
 コンクリート表層部のゲルを非膨張化

86

『リハドリシリンダー工法』で期待されるASR抑制効果

- ・ひび割れ注入工および表面被覆工により、外部からの水分供給を遮断  
 ⇒ ゲルの吸水膨張反応が抑制され、ASRの進行が抑制される
- ・補修材料中のリチウムイオンがコンクリート中に拡散し、ゲルを非膨張化  
 ⇒ コンクリート表面近くにあるゲルは非膨張化され、ASRの進行が抑制される



・残存膨張量が小さい場合  
 ・劣化進行が穏やかな場合  
 ・再劣化を許容しうる場合

↓

経過観察を行い、再劣化したら速やかに再補修を繰り返す維持管理シナリオ

87


技術資料P.75

(4) 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  
 『ASRリチウム工法』

**【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：0.081% (JCI-DD2法)  
 0.15% (カナダ法)




① 着工前 (劣化状況)

**【ASRの抑制方針】**  
 ・アルカリシリカゲルの非膨張化

88


亜硝酸リチウム内部圧入工法

**【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

89


亜硝酸リチウム内部圧入工法

**【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。

90

### 亜硝酸リチウム内部圧入工法

#### 【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

### 亜硝酸リチウム内部圧入工法

#### 【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

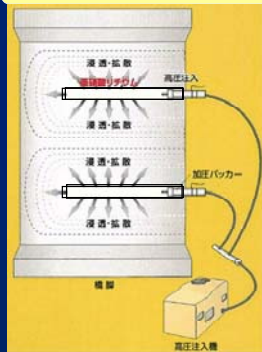


⑨ 圧入孔充填工

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

### 『ASRリチウム工法』で期待されるASR抑制効果

- ・内部圧入されたリチウムイオンがコンクリート浸透部まで浸透  
⇒ コンクリート内にあるASRゲルは非膨張化され、ASRの進行が抑制される

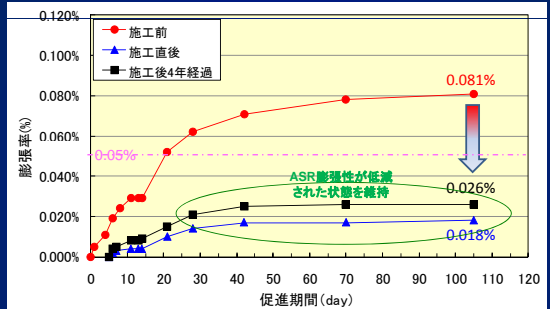


- ・残存膨張量が大きい場合
- ・過去の補修が再劣化している場合
- ・構造物の重要度が高い場合

#### 根本的なASR抑制効果

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

### 参考：残存膨張量試験(JCI-DD2法)による補修効果の検証



・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。

### 亜硝酸リチウム内部圧入工法 施工実績図 (2014/08 現在)



ASR対策 45件  
補修対策 7件

### 亜硝酸リチウム内部圧入工の適用事例

#### 【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



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（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

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：鳥根県雲南市木次町  
 施工：平成24年9月～平成24年12月  
 発注：鳥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 … 0.062～0.063%  
 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

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、橋台パラペット）】… 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

【参考】よくみる調査補修設計の事例（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、第〇案を採用

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？

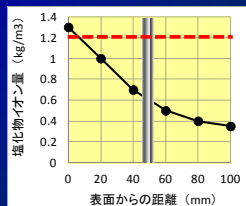
【塩害】劣化状況・程度に応じた補修工法選定の考え方の例

状況① 【鉄筋腐食度は小さく、塩分量も少ない】

潜伏期

- ・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）



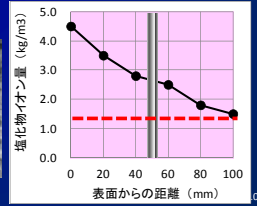
注意：○△×の評価はあくまで考え方の例です

進展期～加速期前期

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

加速期前期～後期

状況③ 【鉄筋腐食度が大きいが、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

加速期後期～劣化期

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
- ・補修だけでなく補強工法と組み合わせる必要があるかを検討
  - 表面含浸・被覆工法 + 断面修復 + 補強
  - 断面修復工法のみ + 補強
  - × 脱塩工法 + 断面修復 + 補強
  - 電気防食工法 + 断面修復 + 補強
  - 亜硝酸リチウムと断面修復との併用 + 補強



注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

塩害の劣化グレードと適用可能な補修工法との関係

技術資料P.13

	潜伏期	進展期	加速期前期	加速期後期	劣化期
塩害による劣化の程度					
劣化の状態	・外観上の変化なし	・外観上の変化なし ・塩化物イオン濃度が腐食発生限界を超え、鉄筋腐食が開始	・腐食ひび割れ発生 ・錆汁 ・コンクリートの浮き	・腐食ひび割れが大きくなり多数発生 ・コンクリートの剥離、剥落	・大規模な剥離、剥落 ・鋼材の著しい断面減少 ・変位、たわみ
工法選定の例	・表面被覆工法 ・表面含浸工法	・表面被覆工法 ・表面含浸工法 ・脱塩工法 ・電気防食工法 ・断面修復工法 ・内部圧入工法	・電気防食工法 ・断面修復工法 ・内部圧入工法	・電気防食工法 ・断面修復工法 ・内部圧入工法	・断面修復工法 + 補強工法

※ 断面修復工法や脱塩工法には表面被覆、表面含浸工法を併用することもある  
ひび割れが発生している場合にはひび割れ注入工法が併用される  
赤字は亜硝酸リチウムを使用可能な工法を示す

【参考】よくみる調査補修設計の事例(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○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？

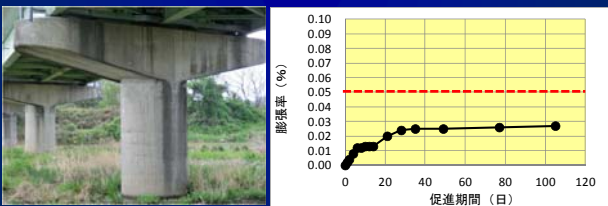
技術資料P.50

【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】

進展期

- ・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)

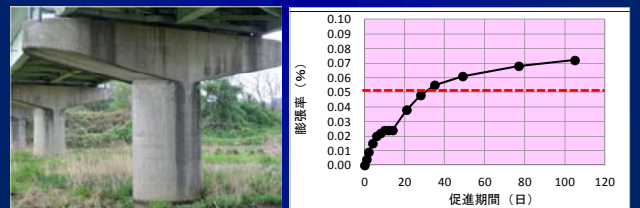


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

進展期

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)

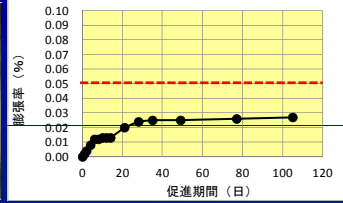


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

状況③ 【変状は著しいが、残存膨張量は十分に小さい】

(加速期～)劣化期

- ・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)

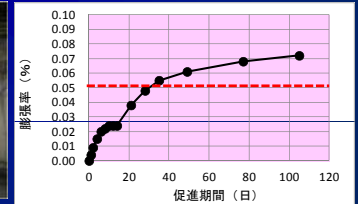


注意: ○△×の評価はあくまで考え方の例です

状況④ 【変状が著しく、残存膨張量も十分に大きい】

加速期(～劣化期)

- ・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
- ・残存膨張量が大きいため、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の劣化グレードと適用可能な補修工法との関係

技術資料P.35

劣化の状態	中性化による劣化の程度			
	潜伏期	進展期	加速期	劣化期
劣化の状態	・外観上の変化なし	・膨張ひび割れ発生	・膨張ひび割れ進展 ・ゲル滲出 ・強度、弾性係数の低下 ・鋼材腐食による錆汁	・膨張ひび割れ増大 ・ずれ、段差 ・強度、弾性係数の著しい低下 ・剥離、剥落 ・鉄筋露筋 ・変位、変形
工法選定の例	・水処理 ・表面被覆工法 ・表面含浸工法	・水処理 ・表面被覆工法 ・表面含浸工法 ・ひび割れ注入 ・内部圧入工法	・水処理 ・表面被覆工法 ・表面含浸工法 ・ひび割れ注入 ・内部圧入工法 ・補強による膨張拘束	・水処理 ・断面修復工法+ 補強工法 ・鉄筋破断箇所の補修

※ あらゆる劣化グレードにおいても水処理は実施すべきである  
赤文字は重碳酸リチウムを使用可能な工法を示す

おわりに

コンクリートは安価で優れた構造材料として社会資本の根幹を成す  
多くのコンクリート構造物は高齢化が進んでいるのが現状

適切な維持管理によって構造物の長寿命化、延命化を図ることが急務

維持管理分野の適切な知識と技術を有する技術者が、常に新しい知見を吸収し、活躍することによってのみ、既設コンクリート構造物の長寿命化、延命化が図られる



『持続可能な社会の形成』  
これこそが今後我々が進むべき将来像