

亜硝酸リチウムを用いた補修の 設計・施工指針(案)の紹介

十河 茂幸

近未来コンクリート研究会 代表
一般社団法人コンクリートメンテナンス協会 顧問
工学博士 コンクリート診断士

設計・施工指針の作成へのご協力に謝意

- 亜硝酸リチウムの活用が本格化
- 頼りになる指針の作成が必要では？ との声
- そこで、編集委員会を結成（13名）
委員長、幹事長、幹事団、編集委員が作業
- アドバイスを求めて
宮川豊章京都大学名誉教授をはじめ、多くの
先生方（22名）のご指導を頂きました、
- 完成は、2020年4月
まだまだ、(案)の段階で、試行錯誤しながら充実を!

亜硝酸リチウムを用いた 補修の設計・施工指針(案)

- 亜硝酸リチウムを用いた補修の設計・施工の方法の提案
- 劣化レベルに応じた適切な亜硝酸リチウムの適量の選定方法
- 劣化状況に応じた各種の補修工法の提案



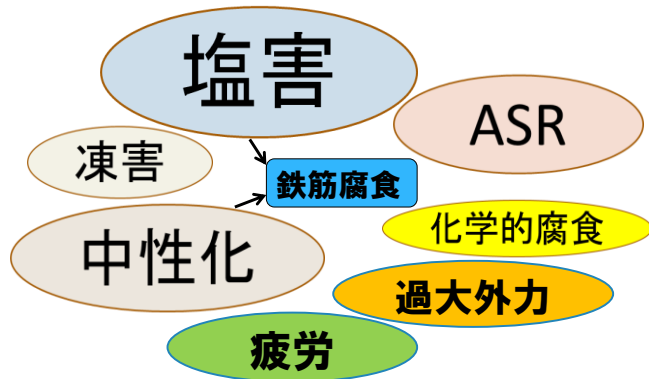
補修対応の実態

点検済みの劣化度ⅢおよびⅣの橋梁における補修の実施例
(国土交通省編：メンテナンス報告書2019年度より)

管理者	修繕が必要 A	修繕に着手 B	修繕が完了 D	着手率 (B/A)	完了率 (D/A)
国土交通省	3,427	1,811	617	53%	18%
高速道路会社	2,647	846	457	32%	17%
都道府県・政令市等	20,586	4,889	2,684	24%	13%
市町村	42,391	7,811	4,746	18%	11%
合計	69,051	15,357	8,505	22%	12%

Ⅰ：健全 Ⅱ：予防保全段階 Ⅲ：早期措置段階 Ⅳ：緊急措置段階
このうち、グレードⅢおよびⅣと判定された橋梁が対象

コンクリートの老朽化の主要因



補修の対象とする劣化機構

- 塩化物イオンによる鉄筋腐食（**塩害**）
特徴は、潜伏期と進展期には外観が損傷しない。
表面に損傷が表れた時は加速期である。▶
- 中性化による鉄筋腐食（**中性化による劣化**）
特徴は、潜伏期と進展期には外観が損傷しない。
表面に損傷が表れた時は加速期である。▶
- アルカリシリカ反応（**ASR**）による劣化
内部の骨材の吸水膨張で表面にひび割れが生じる。
水分が存在すると、長期間膨張が継続する。▶

塩化物イオンによる劣化(塩害)事例

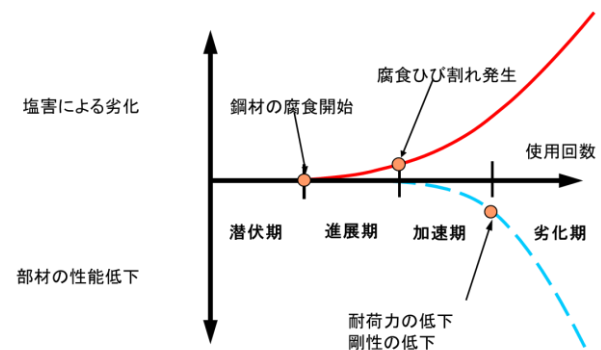


供用制限された橋梁

こうなる前に補修を！



塩害による劣化進行過程の概念



塩害における劣化過程と外観上の劣化状態

劣化過程	定 義	外観上の劣化の状態
潜伏期	鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	外観上の変状はない
進展期	鋼材の腐食発生開始から腐食ひび割れ発生までの期間	腐食開始限界塩化物イオン濃度以上腐食はしているが外観上に変状はない
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	(前期) 腐食ひび割れ、錆汁発生 (後期) 腐食ひび割れ多数、錆汁、部分的なはく離、剥落
劣化期	腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	腐食ひび割れ多数(ひび割れ幅大) 錆汁、はく離、剥落 変位、たわみ大きい

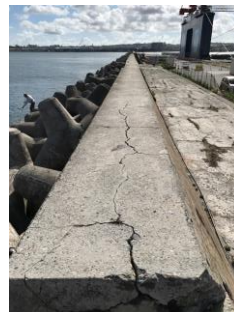
2007年制定土木学会コンクリート標準示方書[維持管理編]を参考に作成

中性化による鉄筋腐食に事例



かぶり厚さの確保が重要

アルカリシリカ反応による劣化事例



アルカリシリカ反応によるひび割れ

・無筋コンクリートでは亀甲状に発生



・鉄筋コンクリートでは拘束軸方向にひび割れ



劣化要因と潜伏期・進展期の外観

劣化要因	潜伏期	進展期
塩化物イオン	外観上の変状なし 腐食発生限界Cl ⁻ イオン量以内	外観上の変状なし 塩化物イオンによる腐食開始
中性化	外観上の変状なし 発錆限界以上の中性化残り	外観上の変状なし 中性化による腐食開始
ASR	外観上の変状なし 膨張によるひび割れなし	膨張ひび割れの発生 変色、アルカリシリカゲルの滲出
凍結融解作用	外観上の変状なし 凍結融解の繰り返しを受ける	スケーリング、ひび割れの発生 ポップアウトの発生など
化学的侵食	外観上の変状なし 表面の変質が認められない期間	表面が荒れた状態 ひび割れの発生

凍害を受けたコンクリート構造物



← 橋梁アバットの凍害
凍結融解の繰り返し作用
により劣化が進展



二次製品は気泡を減じることが多く、要注意 →

補修方法に選定の前に点検と診断が必要

◆ 劣化原因を特定するための点検

⇒ 自然環境と使用環境から原因を絞る。
調査項目を絞り、安価の方法を選択

◆ 劣化グレードの特定のための点検

⇒ 予測ができる点検が必要
中性化深さから将来を予測
塩化物イオンの侵入深さから予測

小規模鉄筋コンクリート橋梁の点検要領(案)



小規模橋梁の点検要領は、
鉄筋コンクリートの劣化を対象
としています。

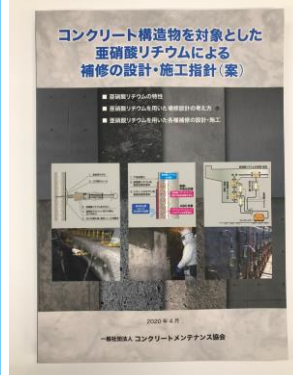
改訂版(Ver.2)は事例を加え
使いやすくしています。

誰でもできる点検を目指して、
早期の点検で安価な措置を。

参考にして頂ければ幸いです。

亜硝酸リチウムを用いた 補修の設計・施工指針(案)

- 亜硝酸リチウムを用いた補修の設計・施工の方法の提案
- 共通編
適用の範囲を示す。
補修方法の選定方法
- 工法別マニュアル編
劣化原因、劣化状況に応じた補修設計・施工法



共通編の内容

1章 総則

本指針(案)の構成、全章を通じた用語の定義など

2章 亜硝酸リチウムの特性

亜硝酸リチウムの基本情報、劣化抑制メカニズム、品質規格等

3章 亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方

塩害、中性化による鉄筋腐食抑制に着目した補修工法選定

アルカリシリカゲル膨張抑制に着目したASR補修工法選定

補修工法選定の考え方のフロー

劣化過程と適用可能な補修工法との関係

工法別マニュアルの内容

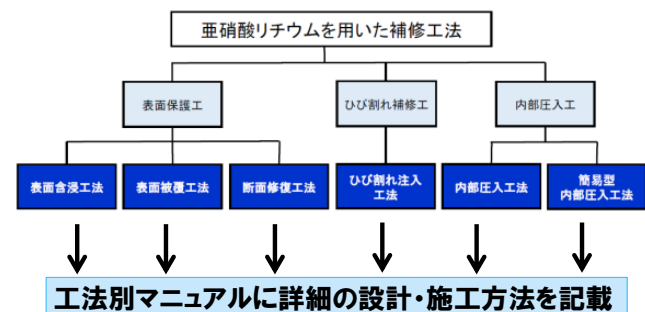
1. 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.49
2. 亜硝酸リチウム併用型表面被覆工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.67
3. 亜硝酸リチウム併用型断面修復工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.87
4. 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.111
5. 亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.127
6. 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.161

共通編

1章 総則

- 1.1 適用の範囲 ⇒
亜硝酸リチウムを活用した補修の設計・施工の標準を示す。
- 1.2 本指針(案)の構成 ⇒
共通編と工法別マニュアル編の適用方法を紹介
- 1.3 用語の定義 ⇒
本指針(案)で使用する用語を定義

1.1 適用の範囲



1.2 本指針(案)の構成

- 共通編
 - 1章 総則
 - 2章 亜硝酸リチウムの特性
 - 3章 亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方
- 工法別マニュアル編
 - 1. 表面含浸工法 2. 表面被覆工法
 - 3. 断面修復工法 4. ひび割れ注入工法
 - 5. 内部圧入工法 6. 簡易型圧入工法

1.3 用語の定義

- 本指針で扱う用語を定義
 - たとえば、
 - 維持管理とは・・・
 - 予防保全とは・・・
 - 事後保全とは・・・
 - 点検とは・・・
 - 調査とは・・・
 - 診断とは・・・
 - 補修とは・・・

2章 亜硝酸リチウムの特性

- 2.1 亜硝酸リチウムとは
- 2.2 亜硝酸リチウムによる鉄筋の腐食抑制効果
- 2.3 亜硝酸リチウムによるASRの膨張抑制効果
- 2.4 亜硝酸リチウムの品質
- 2.5 亜硝酸リチウムの安全性

2.1 亜硝酸リチウムとは

- (1) 本章で扱う亜硝酸リチウムは、亜硝酸リチウムを含有する水溶液状の補修材料を指す。
- (2) 亜硝酸リチウムに期待する効果は、以下とする。
 - ①鉄筋腐食抑制効果
 - ②ASR膨張抑制効果

亜硝酸リチウム(LiNO_2)の特性

亜硝酸イオンとリチウムイオンがイオン結合した化合物



亜硝酸リチウムの外観

濃度が40%(質量%)の水溶液として製品化

亜硝酸リチウム(LiNO_2)の効能

亜硝酸イオン
 NO_2^-

不動態皮膜の再生により
鉄筋腐食を抑制

塩害・中性化 対策

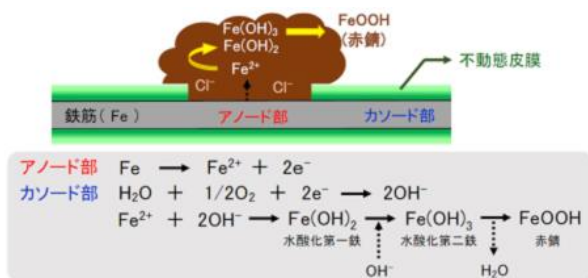
リチウムイオン
 Li^+

アルカリシリカゲルを
非膨張化

ASR 対策

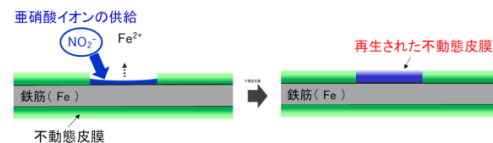
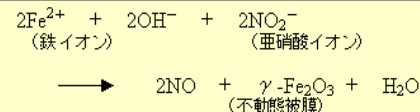
鉄筋の防食とASRの非膨張化の両方に効く材料

2.2 鉄筋の腐食抑制効果



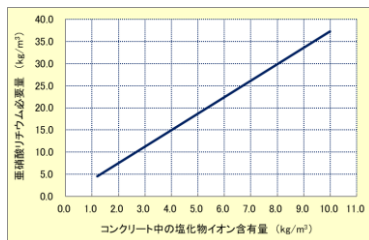
塩化物イオンの浸透により不動態皮膜が破壊され、鉄イオンが酸化して腐食が進展する。

亜硝酸リチウムによる鉄筋の防食効果



鉄イオンに亜硝酸リチウムが存在すると、破壊された不動態皮膜が再生される。

どの程度の量の亜硝酸リチウムが必要？



コンクリート中の塩化物イオン量に対する亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0

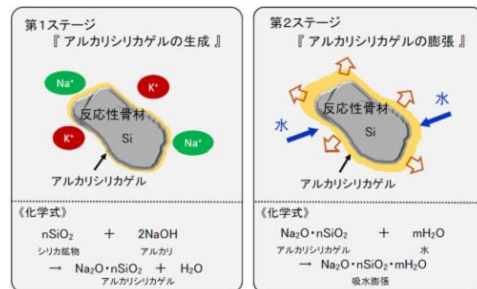
計算例 塩化物イオン量 $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ の場合

- 算出に使用する原子量、式量は以下の通り
 Cl の原子量:35.5
 LiNO_2 の式量:52.9 ($\text{Li}=6.94, \text{NO}_2=46.0$)
- コンクリート中の塩化物イオン(Cl^-)モル数を k_1 とすると、式2-1より、
 $k_1 = 2.00 / 35.5 = 0.0563$
- 必要となる亜硝酸イオン(NO_2^-)のモル数を k_2 、必要量を x_1 とすると、
 $k_2 = x_1 / 46.0$
 ここで、 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比を1.0とするため、 $k_2 = k_1 = 0.0563$ となり、
 $0.0563 = x_1 / 46.0$
 $x_1 = 2.59 \dots$ 亜硝酸イオンの必要量
- 亜硝酸リチウム(LiNO_2)の必要量 x_2 に換算すると、
 $x_2 = 2.59 \times 52.9 / 46.0 = 2.98 \dots$ 亜硝酸リチウムの必要量
- 亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量 x_3 に換算すると、
 $x_3 = 2.98 / 0.40 = 7.45 \dots$ 亜硝酸リチウム水溶液の必要量

詳細は、
13頁参照

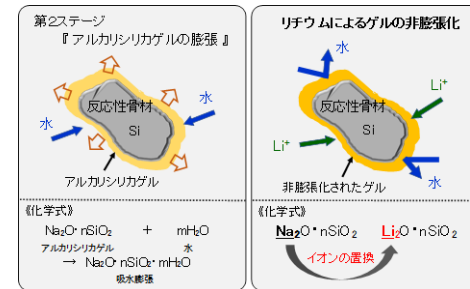
⇒ 亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量は、 $7.45\text{kg}/\text{m}^3$

2.3 ASRの膨張抑制効果



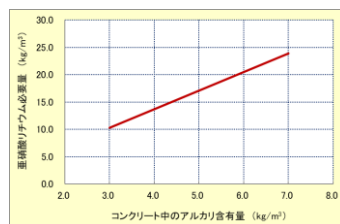
- ① アルカリ反応性骨材の使用によるアルカリシリカゲルの生成
- ② アルカリシリカゲルの吸水膨張 (⇒ ひび割れ発生)

ASRによる膨張反応の抑制効果



アルカリシリカゲルの Na_2 を Li_2 に置換 ⇒ 非膨張化

アルカリ含有量に対する亜硝酸リチウムの必要量



コンクリート中のアルカリ含有量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
[Li]/[Na]モル比=0.8

計算例 アルカリ含有量4.0kg/m³の場合

- 1) 算出に使用する分子量、式量は以下の通り
 Na_2O の分子量:62.0 (Na=23.0, O=16.0)
 LiNO_2 の式量:52.9 (Li=6.94, $\text{NO}_2=46.0$)
- 2) コンクリート中の Na_2O のモル数を k_1 とすると、式2-1より、
 $k_1 = 4.00 / 62.0 = 0.0645$
 Na_2O の中にNaは2つ存在するため、 Na^+ のモル数を k_2 とすると、
 $k_2 = k_1 \times 2 = 0.129$
- 3) 必要となるリチウムイオン(Li^+)のモル数を k_3 、必要量を x_1 とすると、
 $k_3 = x_1 / 6.94$
 $[\text{Li}] / [\text{Na}]$ モル比を0.8とするため、 $k_3 = k_2 \times 0.8 = 0.103$ となり、
 $0.103 = x_1 / 6.94 \quad x_1 = 0.715 \dots$ リチウムイオンの必要量
- 4) これを亜硝酸リチウム(LiNO_2)の必要量 x_2 に換算すると、
 $x_2 = 0.715 \times 52.9 / 6.94 = 5.45 \dots$ 亜硝酸リチウムの必要量
- 5) これを亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量 x_3 に換算すると、
 $x_3 = 5.45 / 0.40 = 13.6$

⇒ 亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量は13.6kg/m³

2.4 亜硝酸リチウムの品質

グレード	一般用	浸透拡散型
濃度	40±1%	40±1%
密度	1.25±0.05 g/cm ³	1.25±0.05 g/cm ³
pH	9.0±1.0	9.0±1.0
粘度	50mPa・s 以下	20mPa・s 以下
品質規格	 青色透明	 黄色透明
用途	表面含浸工法 表面被覆工法 断面修復工法	ひび割れ注入工法 内部圧入工法 簡易型内部圧入工法

2.5 亜硝酸リチウムの安全性

- (1) 材料特性と材料安全性を理解して使用する。
⇒ 亜硝酸イオンは、自然界では河川水中にも存在
リチウムイオンは、毒性や有害性が認められない。
- (2) 周辺環境に対する安全性を確保する。
⇒ 環境中に直接廃棄することは厳禁としている。
- (3) 作業員に対する安全性を確保する。
⇒ 当然、飲用してはならない。
皮膚に付着した場合は、速やかに洗浄する。
そのほか、取扱後は、手、顔をよく洗うこと。
⇒ 安全性は安全データシート(SDS)に従う。

3章 亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方

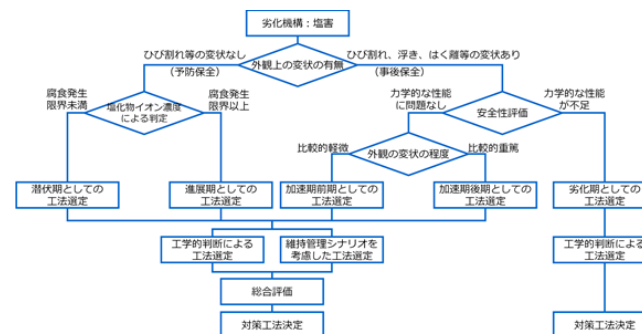
3.1 塩害の劣化過程に応じた補修の考え方

3.2 中性化による鉄筋腐食の抑制を目的とした補修の考え方

3.3 ASRの膨張抑制を目的とした補修の考え方

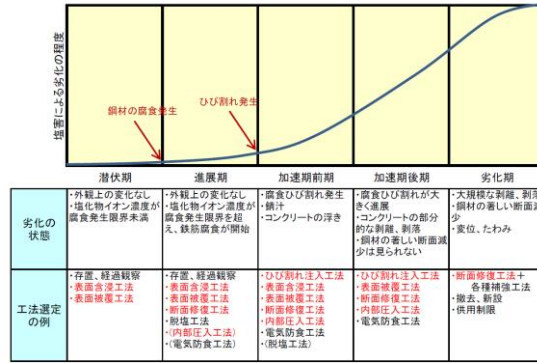
塩害対策のフロー (3.1)

詳細は、
25頁参照



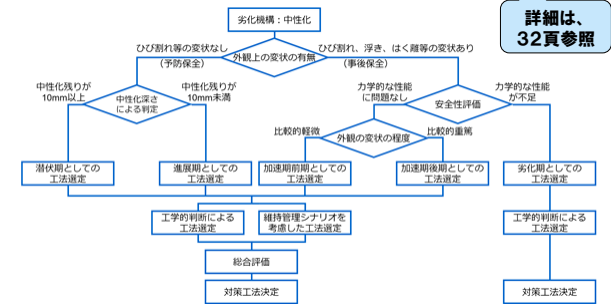
劣化過程に応じて補修工法を選択

塩害による劣化過程と補修工法の選定



※ ()内は維持管理シナリオによって選択される可能性のある工法を示す
赤文字は亜硝酸リチウムを併用可能な工法を示す

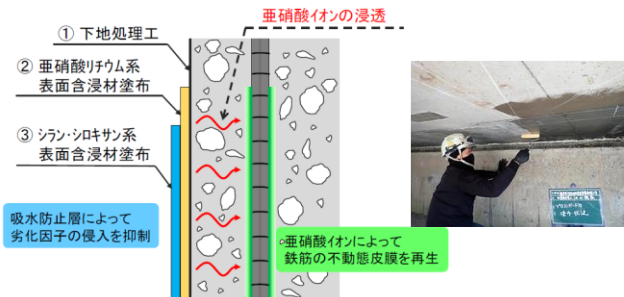
中性化による鉄筋防食のフロー（3.2）



詳細は、
32頁参照

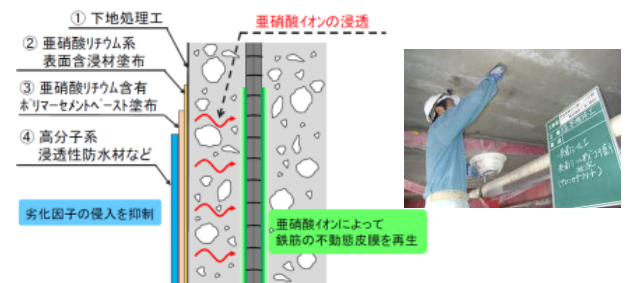
劣化過程に応じて補修工法を選択

表面含浸工法(鉄筋の防食)



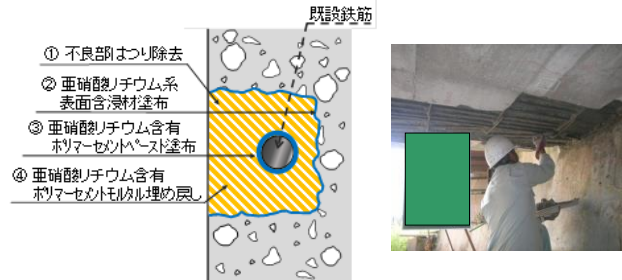
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
鉄筋の不動態皮膜を再生する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

表面被覆工法(鉄筋の防食)



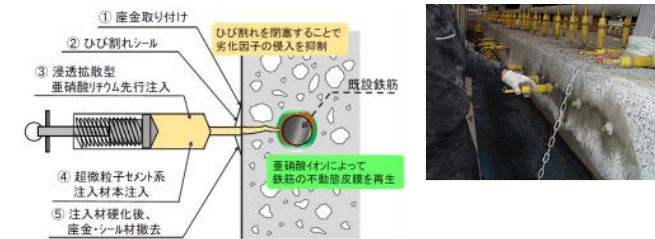
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有の
ポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生
高分子系浸透性防水材は劣化因子の侵入抑制

断面修復工法(鉄筋の防食)



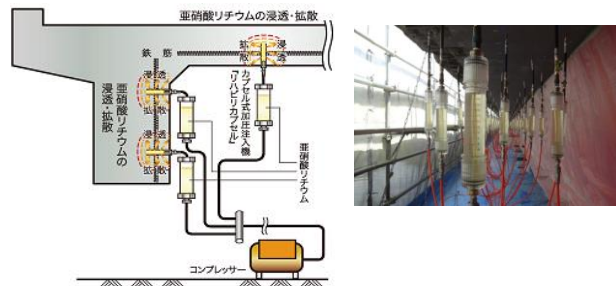
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有のポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生埋め戻し材は亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル

ひび割れ注入工法(鉄筋の防食)



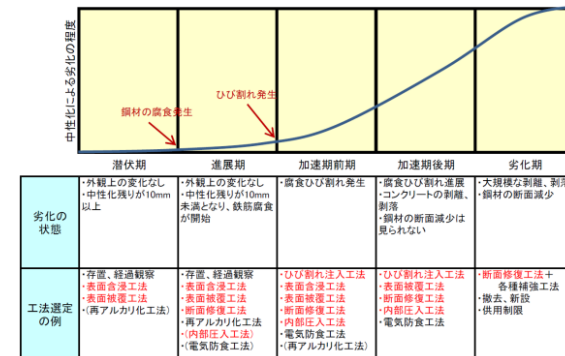
浸透拡散型亜硝酸リチウムの先行注入により鉄筋の不動態皮膜を再生超微粒子系注入材は劣化因子の侵入防止

簡易型内部圧入工法(鉄筋の防食)



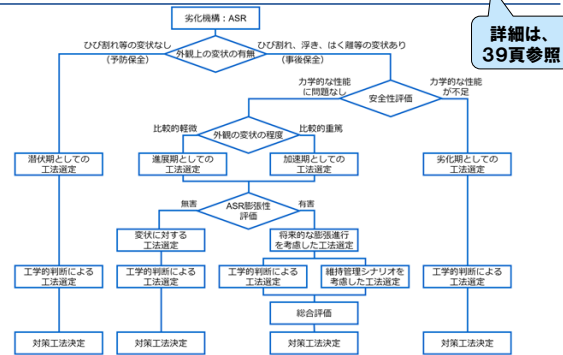
浸透拡散型亜硝酸リチウムの圧入により鉄筋の不動態皮膜を再生

中性化による劣化の過程と補修工法



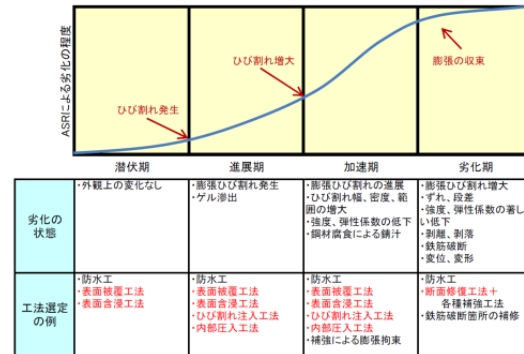
※ ()内は維持管理シナリオによって選択される可能性のある工法を示す
赤字は亜硝酸リチウムを併用可能な工法を示す

ASRによる劣化対策フロー(3.3)



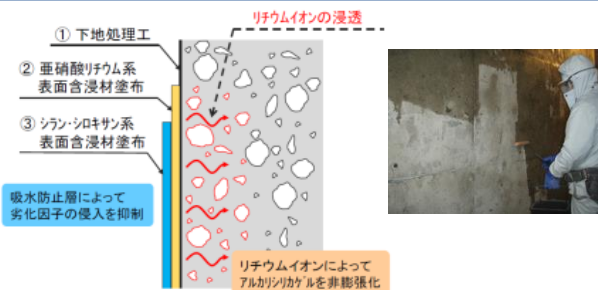
劣化過程に応じて補修工法を選択

ASRによる劣化過程と補修工法の選定



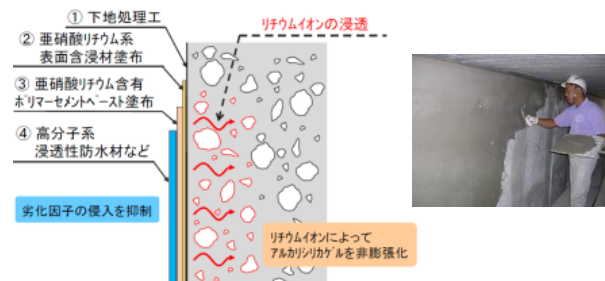
※ あらゆる劣化グレードにおいても水処理は実施すべきである
※ 文字は亜硝酸リチウムを使用可能な工法を示す

表面含浸工法(ASR対策)



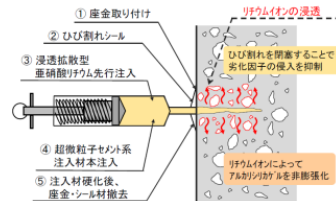
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
アルカリシリカゲルの非膨張化する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

表面被覆工法(ASR対策)



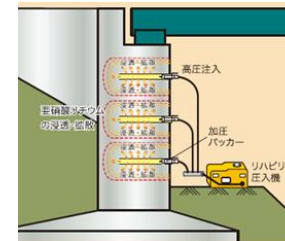
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有の
ポリマーセメントペースト塗布によりアルカリシリカゲルを非膨張化
高分子系浸透性防水材は劣化因子の侵入抑制

ひび割れ注入工法(ASR対策)



浸透拡散型亜硝酸リチウムの先行注入により
ASRの膨張抑制を行い。
超微粒子系注入材の本注入で劣化防止

内部圧入工法(ASR対策)



浸透拡散型亜硝酸リチウムの圧入により
ASRの膨張抑制効果を期待

工法別マニュアル編

劣化因子と劣化レベルに応じた補修工法

塩害による劣化
(3. 1)

中性化による劣化
(3. 2)

ASRによる劣化
(3. 3)



表面含浸材による補修
(工法別1)

表面被覆による補修
(工法別2)

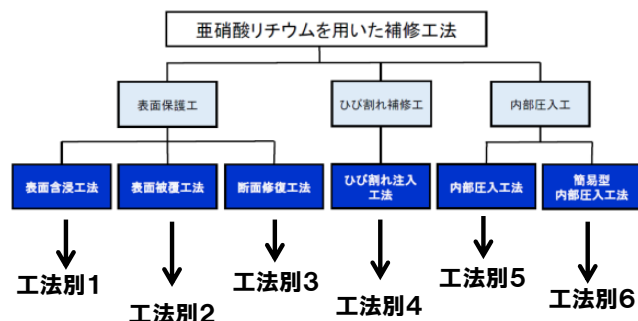
断面修復による補修
(工法別3)

ひび割れ注入による補修
(工法別4)

圧入工法による補修
(工法別5)

簡易型圧入工法による補修
(工法別6)

亜硝酸リチウムを用いた補修工法



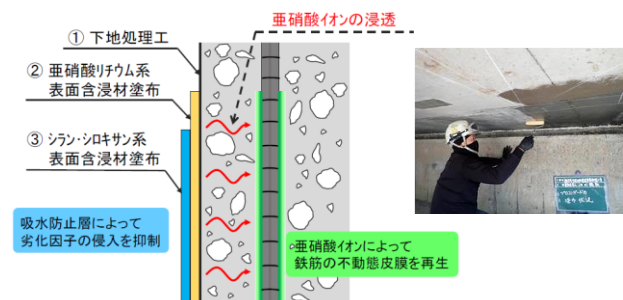
工法別マニュアルの内容

1. 亜硝酸リチウム併用型**表面含浸工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.49
2. 亜硝酸リチウム併用型**表面被覆工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.67
3. 亜硝酸リチウム併用型**断面修復工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.87
4. 亜硝酸リチウム併用型**ひび割れ注入工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.111
5. 亜硝酸リチウム**内部圧入工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.127
6. **簡易型**亜硝酸リチウム**内部圧入工法**の設計・施工
総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準 ⇒ P.161

1. 亜硝酸リチウム併用型**表面含浸工法**の設計・施工

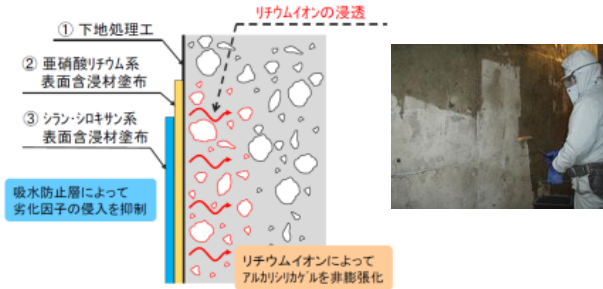
- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 **表面含浸工法**の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

表面含浸工法(鉄筋の防食)



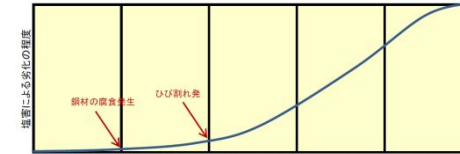
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
鉄筋の不動態皮膜を再生する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

表面含浸工法(ASR対策)



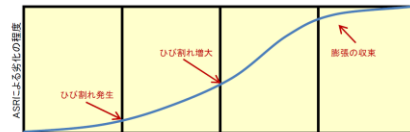
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
アルカリシリカゲルの非膨張化する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

塩害による劣化の工法選定



	潜伏期	進展期	加速前期	加速後期	劣化期
劣化の状態	・外観上の変化なし ・塩化物イオン濃度が腐食発生限界未満	・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・鱗汁・コンクリートの浮き	・腐食ひび割れが大きく進展・コンクリートの部分的な剥離、剥落・鉄材の著しい断面減少は見られない	・大規模な剥離、剥落・鉄材の著しい断面減少・変位、たわみ
工法選定の例	・存置、経過観察 ・表面含浸工法 ・表面被覆工法	・存置、経過観察 ・亜硝酸リチウム使用型表面含浸工法 ・亜硝酸リチウム使用型表面被覆工法 ・樹脂工法 ・断面修復工法 ・内部圧入工法 ・電気防食工法	・亜硝酸リチウム使用型ひび割れ注入工法 ・亜硝酸リチウム使用型表面被覆工法 ・亜硝酸リチウム使用型断面修復工法 ・亜硝酸リチウム使用型内部圧入工法 ・電気防食工法 ・樹脂工法	・亜硝酸リチウム使用型ひび割れ注入工法 ・亜硝酸リチウム使用型表面被覆工法 ・断面修復工法 ・亜硝酸リチウム使用型内部圧入工法 ・電気防食工法	・断面修復工法十各種補強工法 ・撤去、新設 ・供用制限

ASRによる劣化の工法選定



	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・ゲル析出	・膨張ひび割れの進展・ひび割れ増大、密度、弾性係数の低下・鉄筋腐食による鱗汁	・膨張ひび割れ増大・ずれ、変位・強度、弾性係数の著しい低下・剥離、剥落・鉄筋破断・変位、変形
工法選定の例	・防水工 ・表面含浸工法 ・表面被覆工法	・防水工 ・亜硝酸リチウム使用型表面含浸工法 ・亜硝酸リチウム使用型表面被覆工法 ・亜硝酸リチウム使用型ひび割れ注入工法 ・亜硝酸リチウム内部圧入工法	・防水工 ・亜硝酸リチウム使用型表面含浸工法 ・亜硝酸リチウム使用型表面被覆工法 ・亜硝酸リチウム使用型ひび割れ注入工法 ・亜硝酸リチウム内部圧入工法 ・補強による断層拘束	・防水工 ・断面修復工法十各種補強工法 ・鉄筋断断面所の補修

表面含浸工法では、設計量が定められない。

表面含浸工法用 亜硝酸リチウム水溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量(濃度)	40±1%
外観	青色透明 

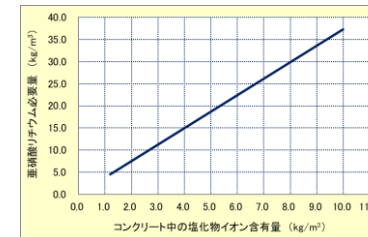
項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm³
pH	9.0±1.0
粘度	50mPa・s以下

シラン・シロキサン系表面含浸材

成分	シラン・シロキサン系
有効成分量（濃度）	90%以上
外観	白色ジェル状 

項目	規格値
粘度	1000±400mPa・s
密度	0.88±0.02 g/cm ³

設計塗布量(塩害の場合)



コンクリート中の塩化物イオン量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
[NO₂⁻]/[Cl⁻]モル比=1.0

塩化物イオン量に対しての設計塗布量

厚さ	2.0kg/m ³ 未満	2.0～ 3.0kg/m ³	3.0～ 4.0kg/m ³	4.0～ 5.0kg/m ³	5.0kg/m ³ 以上
20mm未満	0.30kg/m ²	0.30kg/m ²	0.30kg/m ²	0.40kg/m ²	要検討
20～30mm	0.30kg/m ²	0.40kg/m ²	0.50kg/m ²	0.60kg/m ²	要検討
30～40mm	0.30kg/m ²	0.50kg/m ²	0.60kg/m ²	0.80kg/m ²	要検討
40～50mm	0.40kg/m ²	0.60kg/m ²	0.80kg/m ²	1.0kg/m ²	要検討
50mm以上	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討

標準塗布量 0.3 kg/m²
塩化物イオン量に応じて増量

中性化深さの応じた設計塗布量

浸透深さ	塗布量
20mm未満	0.30kg/m ²
20～30mm	0.30kg/m ²
30～40mm	0.30kg/m ²
40～50mm	0.40kg/m ²
50mm以上	要検討

標準塗布量 0.3 kg/m²
中性化深さが大きい場合は増量

表面含浸工法の設計、施工と管理の事例

使用材料：亜硝酸リチウム水溶液
シラン・シロキサン表面含浸材

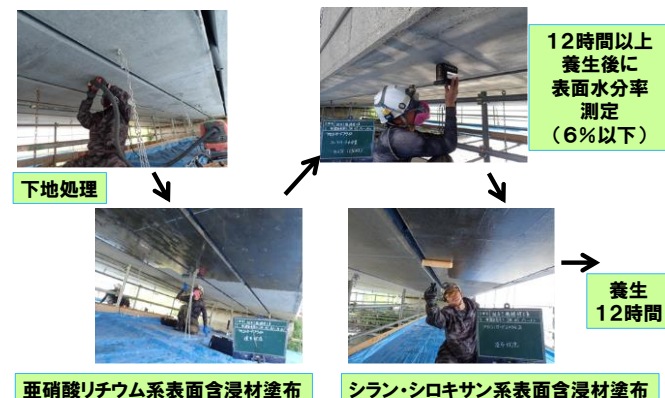
設計量の計算：

標準塗布量 0.3kg/m^2

施工方法

下地処理 ⇒ 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布
⇒ 養生(表面水分率6%以下)
⇒ シラン・シロキサン系表面含浸材塗布
⇒ 養生

施工手順



施工管理について

品質管理項目

工種	管理項目	管理方法	管理基準	備考
亜硝酸リチウム系含浸材	材料品質	ミルシート	メーカー規格	材料搬入毎製造ロット毎
シラン・シロキサン系含浸材	材料品質	ミルシート	メーカー規格	材料搬入毎製造ロット毎

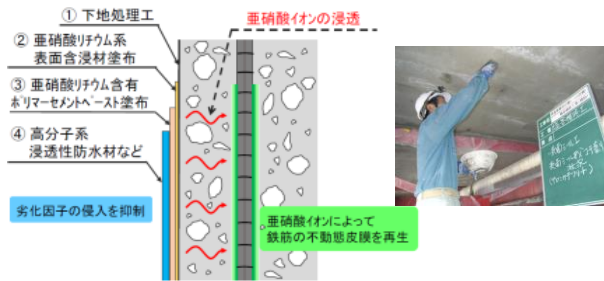
出来形管理項目

工種	管理項目	規格値	測定方法
【使用材料】			
材料検収	亜硝酸リチウム系表面含浸材	設計数量以上	納入・空缶数確認
	シラン・シロキサン系表面含浸材	設計数量以上	納入・空缶数確認
【表面含浸工】			
表面含浸工	塗布面積	設計値以上	スケールによる測定

2. 亜硝酸リチウム併用型表面被覆工法の設計・施工

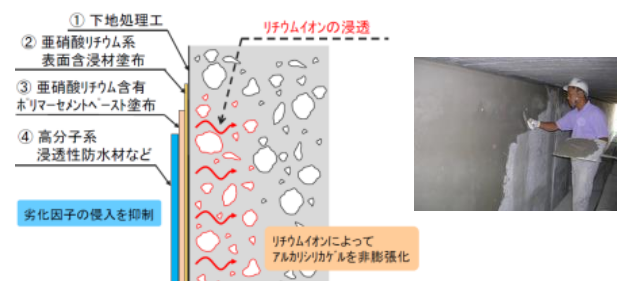
- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 表面被覆工法の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

表面被覆工法(鉄筋の防食)



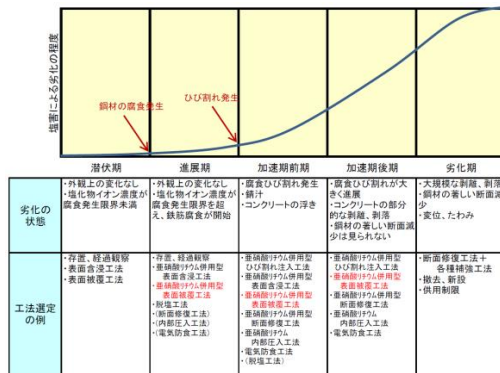
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有の
ポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生
高分子系浸透性防水材は劣化因子の侵入抑制

表面被覆工法(ASR対策)

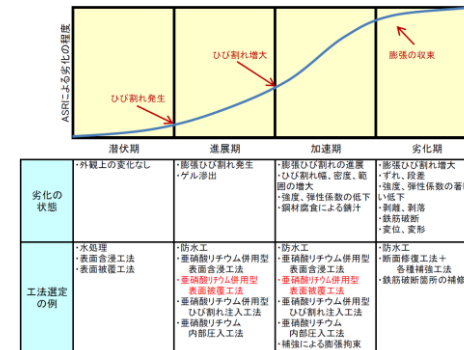


亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有の
ポリマーセメントペースト塗布によりアルカリシリカゲルを非膨張化
高分子系浸透性防水材は劣化因子の侵入抑制

塩害による劣化の工法選択



ASRによる劣化の工法選定



表面被覆工法では、設計量が定められない。

表面被覆工法用 亜硝酸リチウム水溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量（濃度）	40±1%
外観	青色透明 

項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm ³
pH	9.0±1.0
粘度	50mPa・s以下

亜硝酸リチウム含有混和剤の品質規格

成分	亜硝酸リチウムSBRエマルジョン
外観	乳白色
粘度	10mPa・s以下
密度	1.10±0.05 g/cm ³
pH	10.5±1.0
有効分	32.0±1.0

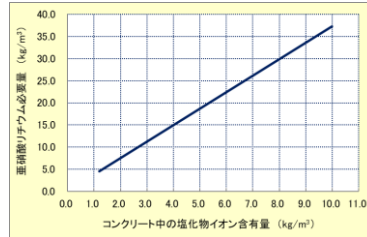
亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの物性

硬化体密度	2.0g/cm ²
圧縮強さ 28日	30.8N/mm ²
曲げ強さ 28日	9.5N/mm ²
付着強さ	2.2N/mm ²
長さ変化率	-0.02

高分子系浸透性防水材の物性

外観	乳白色エマルジョン
pH	8.5±0.5
主成分	シリカ含むアクリル酸エステル
粘度	2500±500CPS
濃度	50±1%
密度	1.17 g/cm ³

設計塗布量(塩害の場合)



コンクリート中の塩化物イオン量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0

塩害補修における亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの設計塗布量

表 3-1 塩害補修における亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの設計塗布量の目安

深さ	塩化物イオン含有量				
	2.0kg/m³未満	2.0～4.0kg/m³	4.0～6.0kg/m³	6.0～8.0kg/m³	8.0kg/m³以上
30mm 未満	2mm	2mm	3mm	4mm	要検討
30～40mm	2mm	2mm	4mm	5mm	要検討
40～50mm	2mm	3mm	5mm	要検討	要検討
50～60mm	2mm	4mm	6mm	要検討	要検討
60mm 以上	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討

中性化補修における亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの設計塗布量

浸透深さ	塗布量
30mm未満	2mm
30～40mm	2mm
40～50mm	2mm
50～60mm	2mm
60mm以上	要検討

表面被覆工法の事例

- 下地処理 ⇒ 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布
- ⇒ 養生(12時間以上)
- ⇒ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル塗布
- ⇒ 養生(12時間以上)
- ⇒ 高分子系浸透性防水剤塗布
- ⇒ 養生(12時間以上)



3. 亜硝酸リチウム併用型断面修復工法の設計・施工

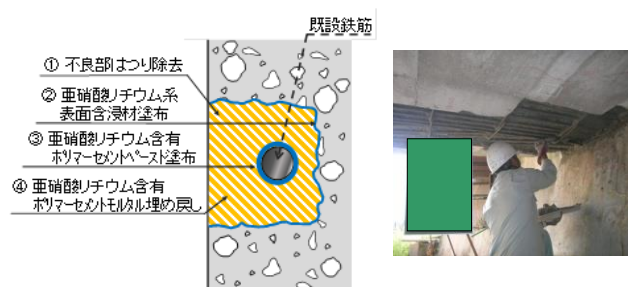
- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 断面修復工法の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

断面修復工法の事例

	左官工法	充填工法	吹付け工法
概要	断面修復材を左官コテを用いて塗布する。断面修復材には、補修箇所に応じて適度な流動性や粘性が求められる。	補修範囲の形状に合わせて型枠を組み、モルタルポンプを用いて断面修復材を充填する。断面修復材には、高い流動性が求められる。	断面修復材を圧縮空気により吹付けて施工する。断面修復材には、適切な作業時間が確保できる凝結特性などが求められる。
施工状況			
適用範囲	小規模の断面修復に適する。	小～大規模の断面修復に適する。	大規模の断面修復に適する。

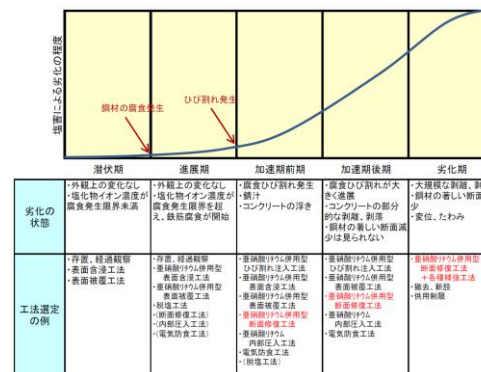
⇒ 左官工法を対象

断面修復工法(鉄筋の防食)

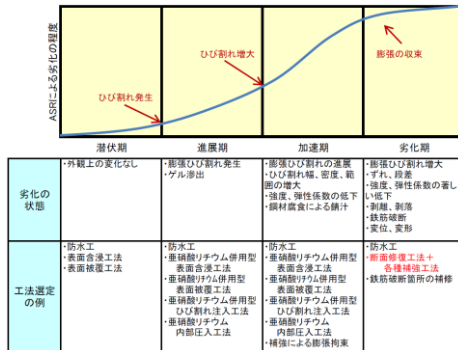


亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有のポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生埋め戻し材は亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル

塩害による劣化の工法選択



ASRによる劣化の工法選定



断面修復工法用 亜硝酸リチウム水溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量（濃度）	40±1%
外観	青色透明 

項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm ³
pH	9.0±1.0
粘度	50mPa・s以下

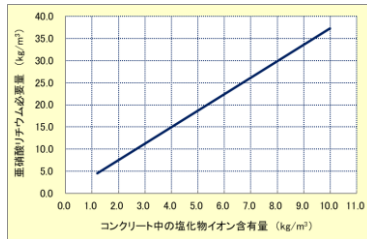
亜硝酸リチウム含有混和剤の品質規格

成分	亜硝酸リチウムSBRエマルジョン
外観	乳白色
粘度	10mPa・s以下
密度	1.10±0.05 g/cm ³
pH	10.5±1.0
有効分	32.0±1.0

亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト

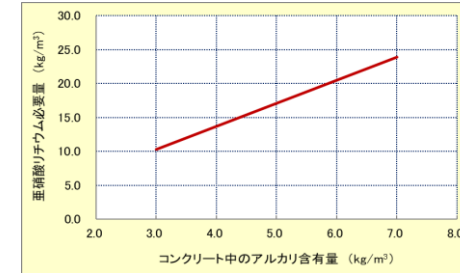
硬化体密度	2.0g/cm ²
圧縮強さ 28日	30.6N/mm ²
曲げ強さ 28日	6.7N/mm ²
付着強さ	3.0N/mm ²
硬化収縮率	-0.11

亜硝酸リチウム設計混入量(塩害の場合)



コンクリート中の塩化物イオン量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0

ASRのための設計抑制剤量



コンクリート中のアルカリ含有量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{Li}]/[\text{Na}]$ モル比=0.8

断面修復工の事例



劣化部の除去



鉄筋のケレン



鉄筋の防錆処理

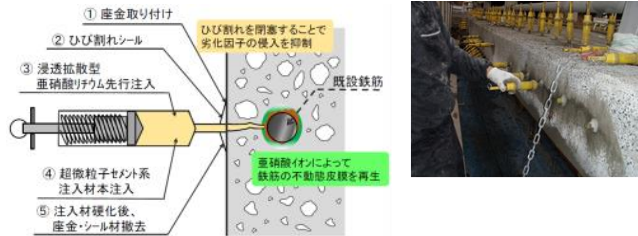


断面修復工

4. 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法の設計・施工

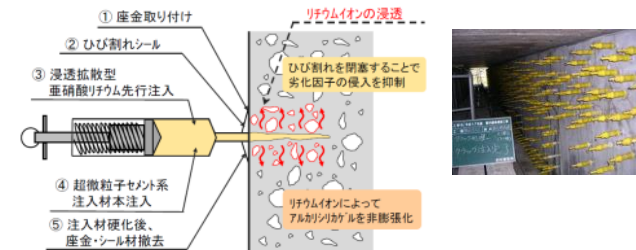
- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 ひび割れ注入工法の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

ひび割れ注入工法(鉄筋の防食)



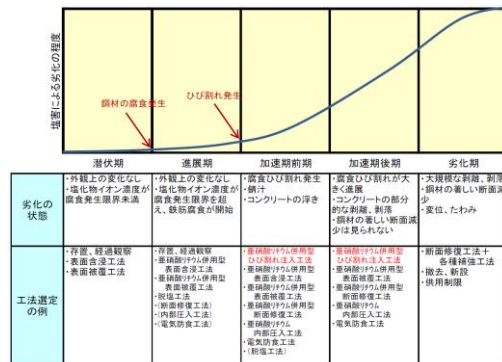
浸透拡散型亜硝酸リチウムの先行注入により
鉄筋の不動態皮膜を再生
超微粒子系注入材は劣化因子の侵入防止

ひび割れ注入工法(ASR対策)

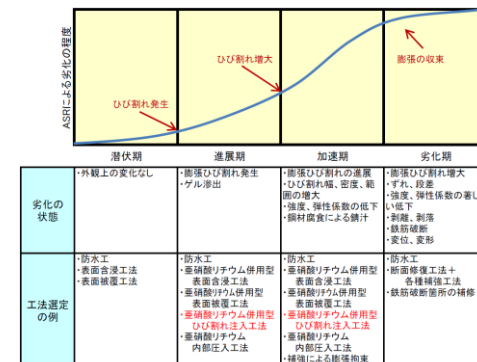


浸透拡散型亜硝酸リチウムの先行注入により
アルカリシリカゲルを非膨張化する工法
超微粒子系注入材は劣化因子の侵入防止

塩害による劣化の工法選択



ASRによる劣化の工法選択



ひび割れ注入用の亜硝酸リチウム溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量（濃度）	40±1%
外観	黄色透明 
項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm ³
pH	9.0±1.0
粘度	20mPa・s以下

超微粒子セメント系注入材の物性

試験項目	単位	測定値	備考
硬化体密度	g/cm ³	1.64	JIS A 1110
コンシステンシー	秒	13.7	JSCE-F531 (JAロート)
ブリーディング率	%	3時間 0.9	JSCE-F532
圧縮強さ	N/mm ²	材齢28日 36.7	JIS A 1108 (φ 50×100mm)
曲げ強さ	N/mm ²	材齢28日 4.2	JIS R 5201
接着強さ	N/mm ²	材齢28日 3.5	JIS A 6024

注入材設計使用量

- 必要量の考え方は共通編による。
- ひび割れ注入材の設計使用量は、ひび割れの体積に応じて定める。
- この際、ひび割れ深さ等の不確実性から、ロス率を見込んで使用量を定める。
- 亜硝酸リチウム(先行注入)のロス率: 30%
- 超微粒子セメント系注入材(本注入)のロス率: 50%

ひび割れ注入工法の施工手順

下地処理

- ⇒ 座金取り付け工
- ⇒ ひび割れシール工
- ⇒ 浸透拡散型亜硝酸リチウム
- ⇒ 超微粒子セメント系ひび割れ注入材
- ⇒ 硬化養生工
- ⇒ 仕上げ工



先行注入

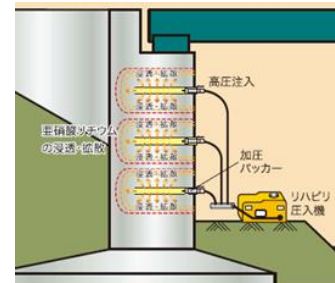
本注入



5. 亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工

- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 内部圧入工法の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

内部圧入工法(ASR対策)



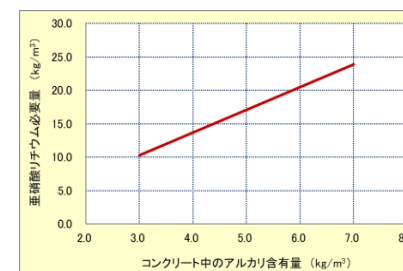
浸透拡散型亜硝酸リチウムの圧入により
アルカリシリカゲルを非膨張化

内部圧入用の亜硝酸リチウム溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量 (濃度)	40±1%
外観	黄色透明 

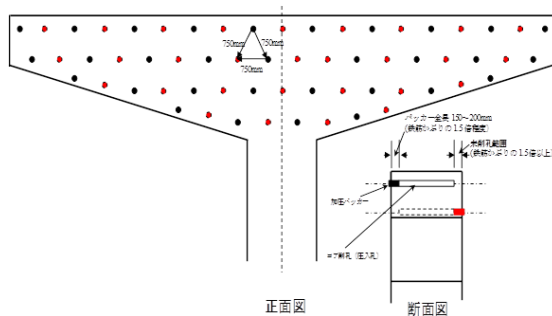
項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm ³
pH	9.0±1.0
粘度	20mPa・s以下

設計抑制剤量



コンクリート中のアルカリ含有量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
[Li]/[Na]モル比=0.8

圧入孔の例



設計注入圧力(上限注入圧力の設計例)

圧縮強度(N/mm ²)	推定引張強度(N/mm ²)	上限注入圧力(MPa)
15	1.50	0.50
17	1.70	0.57
19	1.90	0.63
21	2.10	0.70
23	2.30	0.77
25	2.50	0.83
27	2.70	0.90
29	2.90	0.97
31	3.10	1.03
33	3.30	1.10
35	3.50	1.17
37	3.70	1.23
39	3.90	1.30
41	4.10	1.37
43	4.30	1.43
45	4.50	1.50

内部圧入工法の事例(ASR劣化対象)



橋台のASR補修事例



橋脚(はり部)のASR補修事例



橋壁のASR補修事例

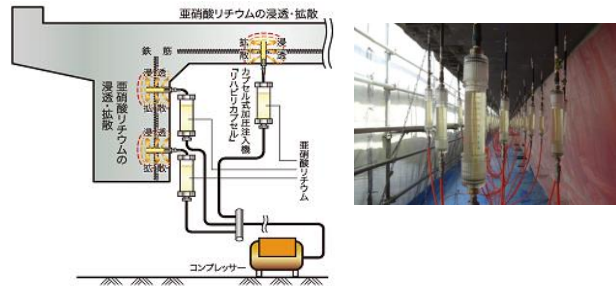


大型供試体によるASR抑制効果検証実験

6. 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工

- 1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 工法概要
- 2章 使用材料
- 3章 設計
 - 3.1 適用可能な劣化過程
 - 3.2 設計塗布量
- 4章 施工
 - 4.1 施工一般
 - 4.2 施工手順
- 5章 施工管理基準
 - 5.1 簡易型内部圧入工法の施工管理
 - 5.2 品質管理
 - 5.3 出来形管理

簡易型内部圧入工法(鉄筋の防食)



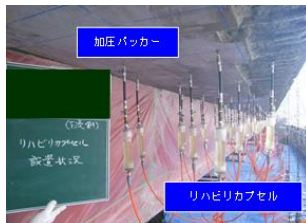
浸透拡散型亜硝酸リチウムの圧入により
鉄筋の不動態皮膜を再生

簡易圧入用の亜硝酸リチウム溶液

成分	亜硝酸リチウム
有効成分量(濃度)	40±1%
外観	黄色透明 

項目	規格値
密度	1.25±0.05 g/cm³
pH	9.0±1.0
粘度	20mPa・s以下

簡易型圧入工法の事例



カプセル式内部圧入工法
適用範囲: 塩害、中性化による
劣化およびASRによる劣化



ベビーコンプレッサ
(小型・軽量で可能)

抑制剤圧入システム



写真2-1 カプセル式圧入装置 (標準容量150ml)



写真2-2 加圧バッカー (バッカー径
φ10mm)

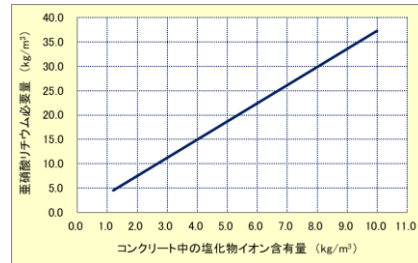


写真2-3 分配器 (任意数の接続可能)



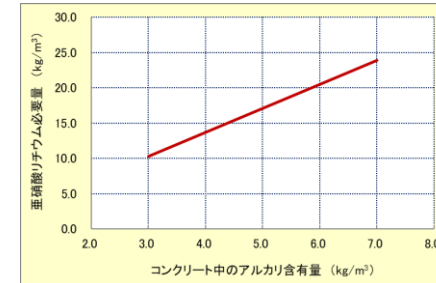
写真2-4 ベビーコンプレッサ

設計抑制剤量(塩害の場合)



コンクリート中の塩化物イオン量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0

設計抑制剤量(ASR対策の場合)



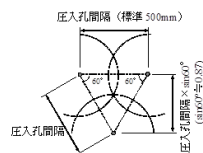
コンクリート中のアルカリ含有量に対する
亜硝酸リチウムの必要量は、
 $[\text{Li}]/[\text{Na}]$ モル比=0.8

圧入孔の例

圧入孔長の設定の例

鋼材のかぶり深さ	圧入孔長
30mm未満	75mm
30～70mm	100mm
70～120mm	150mm
120mm以上	200mm

圧入孔間隔と配置



設計注入圧力

圧縮強度 (N/mm²)	推定引張強度 (N/mm²)	上限注入圧力 (MPa)
15	1.50	0.50
17	1.70	0.57
19	1.90	0.63
21	2.10	0.70
23	2.30	0.77
25	2.50	0.83
27	2.70	0.90
29	2.90	0.97

劣化要因別の補修工法の紹介

□ 鉄筋の防食として（塩害・中性化対策）

表面含浸工法、表面被覆工法、断面修復工法
ひび割れ注入工法、簡易型内部圧入工法

□ ASR対策として

表面含浸工法、表面被覆工法、断面修復工法
ひび割れ注入工法、内部圧入工法、
簡易型内部圧入工法

おわりに

塩害による劣化

中性化による劣化

ASRによる劣化



表面含浸材による補修
表面被覆による補修
断面修復による補修
ひび割れ注入による補修
圧入工法による補修
簡易型圧入工法による補修

劣化因子と劣化グレードに応じて補修工法を選定

参考にして頂ければ幸いです。 十河茂幸