

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

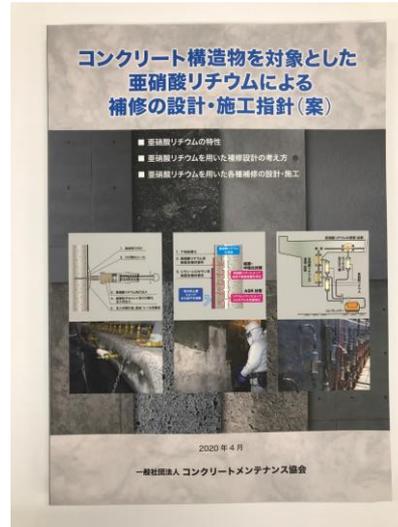
近未来コンクリート研究会 代表
一般社団法人コンクリートメンテナンス協会 顧問
工学博士 コンクリート診断士

設計・施工指針の作成へのご協力に謝意

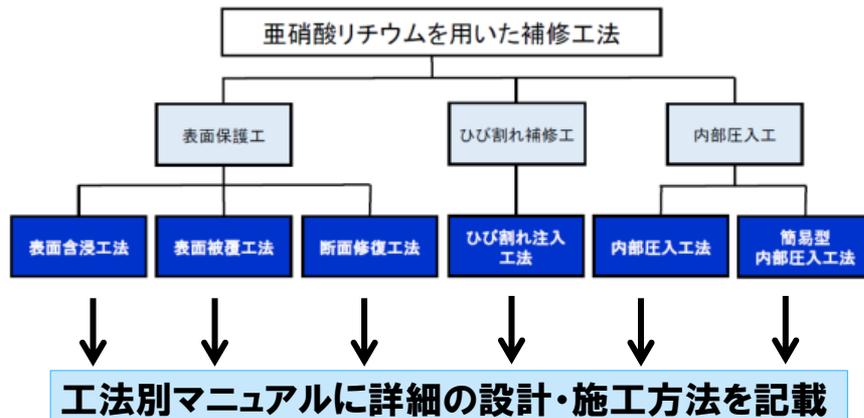
- 亜硝酸リチウムの活用が本格化
- 頼りになる指針の作成が必要では？ との声
- そこで、編集委員会を結成
委員長、幹事長、幹事団、編集委員が作業
- アドバイスを求めて
宮川豊章先生、ほか多くの先生方のご指導を頂き、
感謝しかありません。
- 完成は、2020年4月
まだまだ、(案)の段階で、試行錯誤しながら充実を!

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



亜硝酸リチウムを用いた補修工法



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复工法の設計・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

指針の概要について

- 亜硝酸リチウムの効能と品質
- 塩害・ASRによる劣化の補修方法
- 劣化因子に対応した補修方法
- 劣化程度に応じた各種工法の紹介

1. 亜硝酸リチウムの効能と品質

- 亜硝酸リチウムの効能
亜硝酸イオン $[\text{NO}_2^-]$ による鉄筋防食
リチウムイオン $[\text{Li}^+]$ によるアルカリシリカ反応に伴うひび割れ抑制
- 亜硝酸リチウムの品質
亜硝酸リチウムの高濃度(40%)の水溶液劣化の程度に応じた必要量の設定
安全性は安全データシート(SDS)に従う。

亜硝酸リチウム(LiNO₂)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

亜硝酸リチウムの品質および用途

グレード		一般用	浸透拡散型
品質規格	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
	外観	 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	

亜硝酸リチウム(LiNO₂)の効能

亜硝酸イオン



不動態皮膜の再生により
鉄筋腐食を抑制



塩害・中性化 対策

リチウムイオン



アルカリシリカゲルを
非膨張化



ASR 対策

鉄筋の防食とASRの非膨張化の両方に効く材料

2. 塩化物イオンによる被害(塩害)の対策

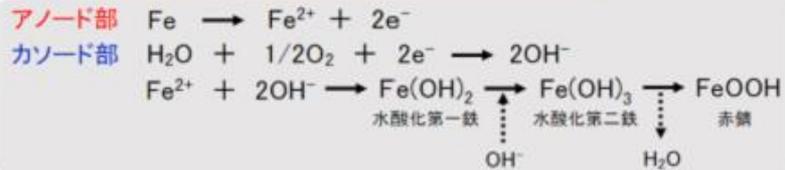
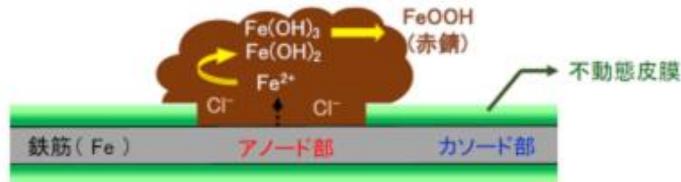


こうなる前に補修を！

供用制限された橋梁

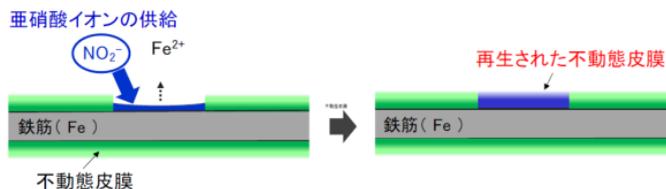
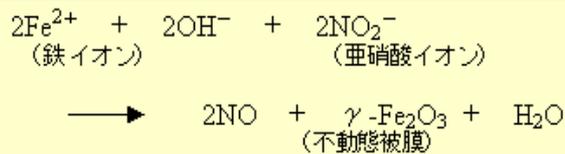


コンクリート中における鉄筋の腐食の概念



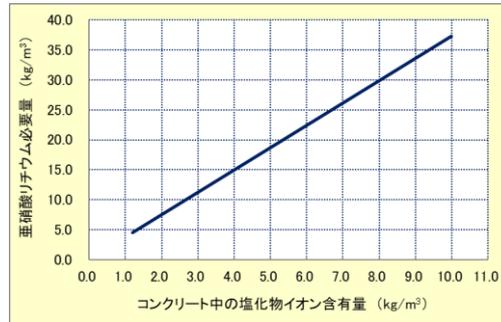
塩化物イオンの浸透により不動態皮膜が破壊され、鉄イオンが酸化して腐食が進展する。

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、
[NO₂⁻]/[Cl⁻]モル比=1.0

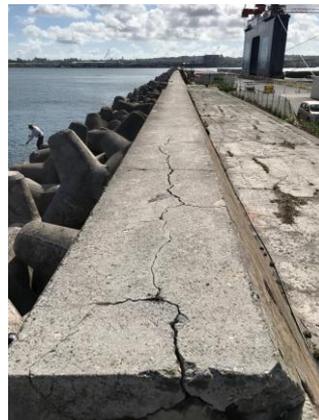
計算例 塩化物イオン量2.0kg/m³の場合

- 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
LiNO₂の式量: 52.9 (Li=6.94, NO₂=46.0)
- コンクリート中の塩化物イオン(Cl⁻)モル数をk₁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(NO₂⁻)のモル数をk₂、必要量をx₁とすると、
 $k_2 = x_1 / 46.0$
ここで、[NO₂⁻]/[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(LiNO₂)の必要量x₂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x₃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

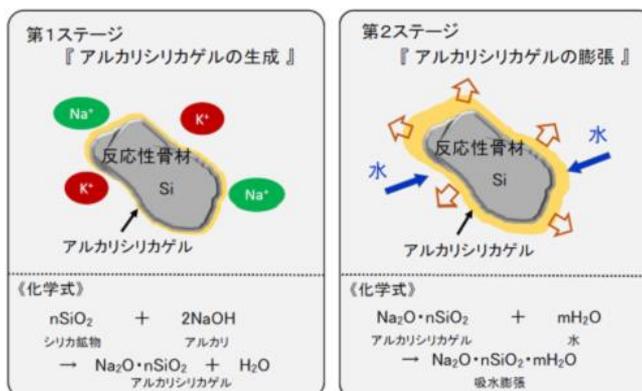
詳細は、
13頁参照

⇒ 亜硝酸リチウム40%水溶液の必要量は、7.45kg/m³

3. アルカリシリカ反応による被害の対策

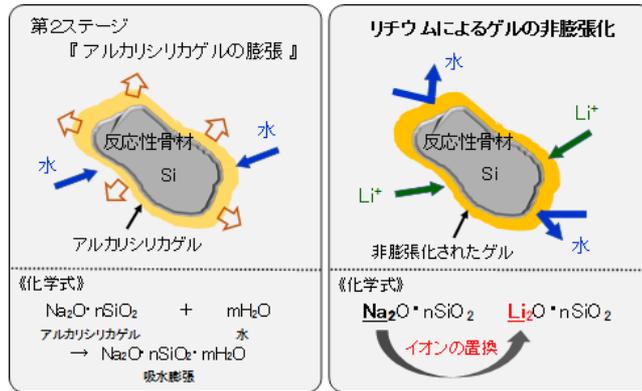


ASRによる膨張の概念



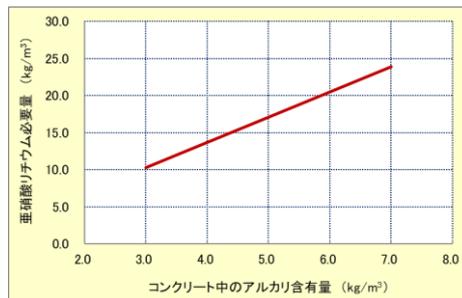
- ① アルカリ反応性骨材の使用によるアルカリシリカゲルの生成
- ② アルカリシリカゲルの吸水膨張（⇒ ひび割れ発生）

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
Na₂Oの分子量:62.0 (Na=23.0、O=16.0)
LiNO₂の式量:52.9 (Li=6.94、NO₂=46.0)
 - 2) コンクリート中のNa₂Oのモル数をk₁とすると、式2-1より、
 $k_1 = 4.00 / 62.0 = 0.0645$
Na₂Oの中にNaは2つ存在するため、Na⁺のモル数をk₂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k₃、必要量をx₁とすると、
 $k_3 = x_1 / 6.94$
[Li]/[Na]モル比を0.8とするため、 $k_3 = k_2 \times 0.8 = 0.103$ となり、
 $0.103 = x_1 / 6.94$ $x_1 = 0.715$ …リチウムイオンの必要量
 - 4) これを亜硝酸リチウム(LiNO₂)の必要量x₂に換算すると、
 $x_2 = 0.715 \times 52.9 / 6.94 = 5.45$ …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x₃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**

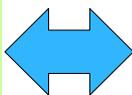
詳細は、
18頁参照

4. 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)

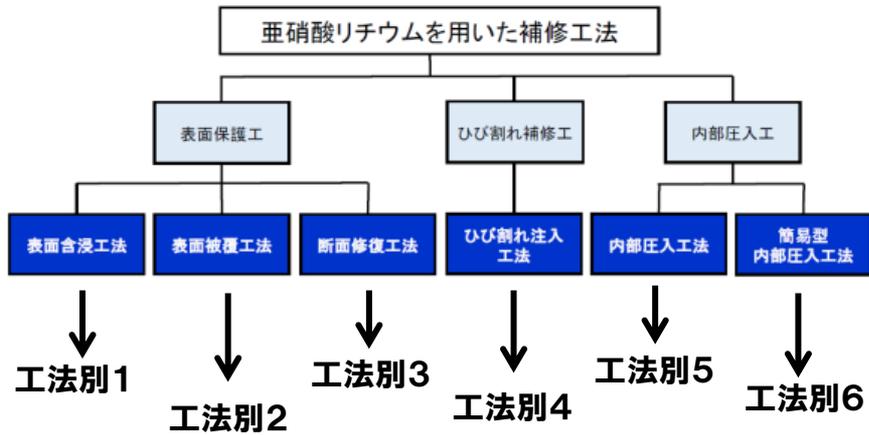
断面修復による補修
(工法別3)

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)

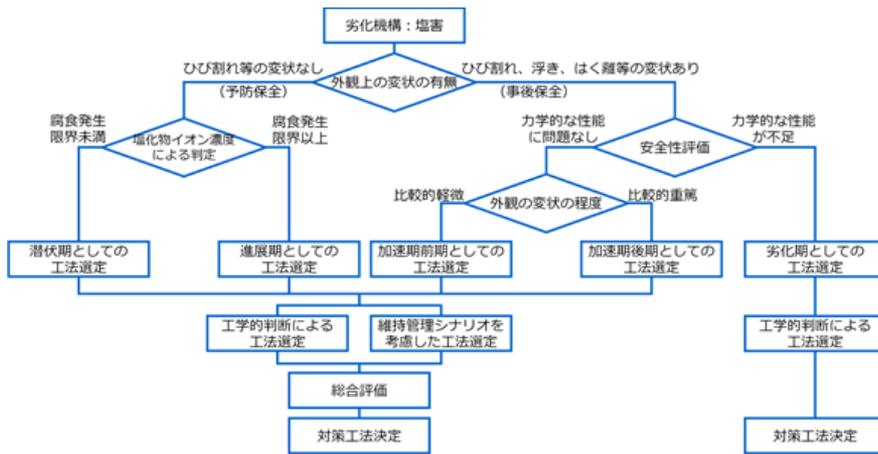
簡易型圧入工法による補修
(工法別6)

亜硝酸リチウムを用いた補修工法



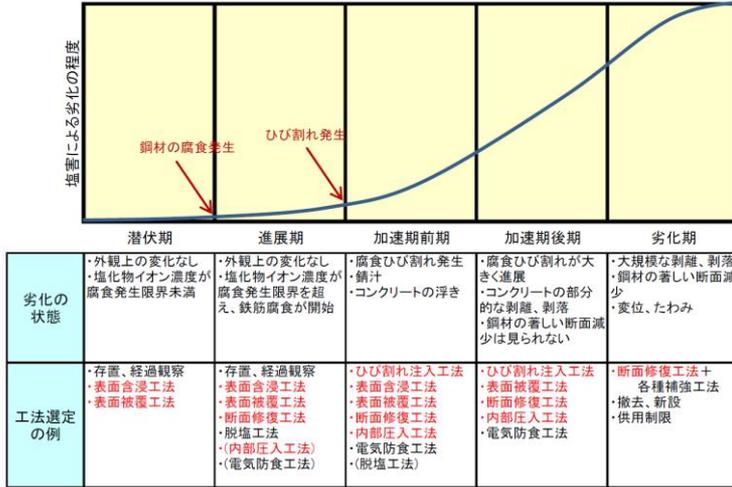
塩害対策のフロー (3.1)

詳細は、
25頁参照



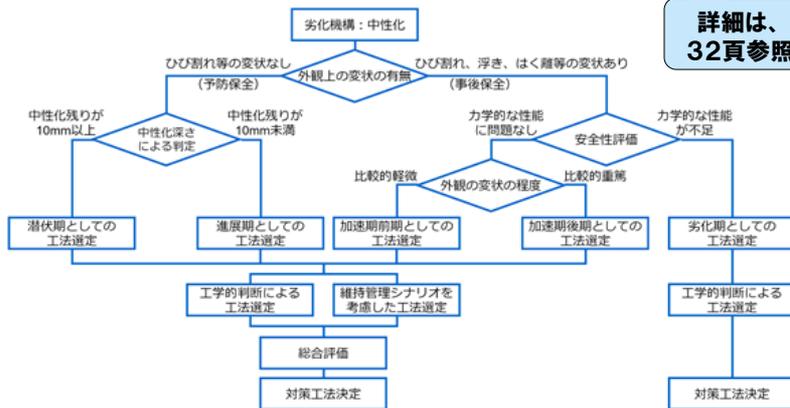
劣化過程に応じて補修工法を選択

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

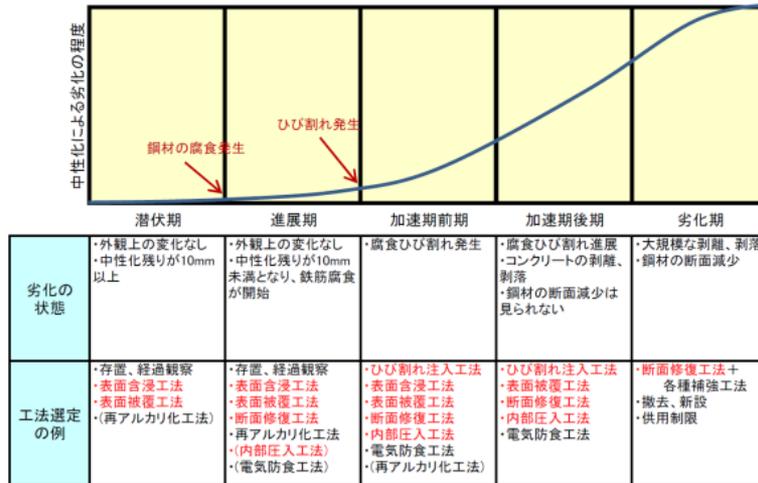
中性化による鉄筋防食のフロー (3.2)



詳細は、32頁参照

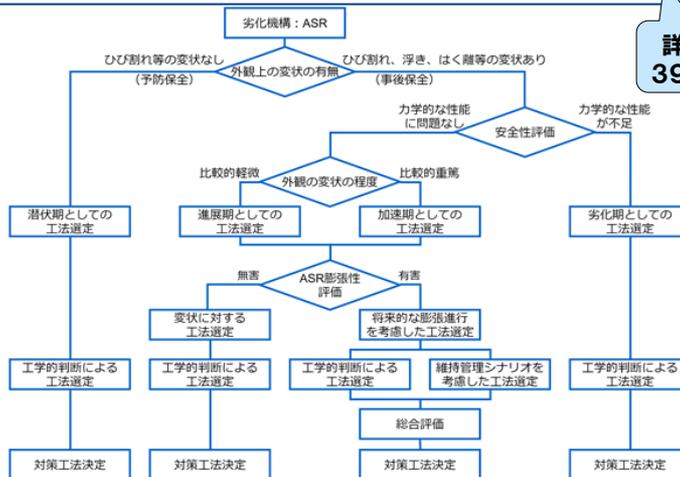
劣化過程に応じて補修工法を選択

中性化による被害の過程と補修工法



※ ()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
赤文字は重碳酸リチウムを併用可能な工法を示す

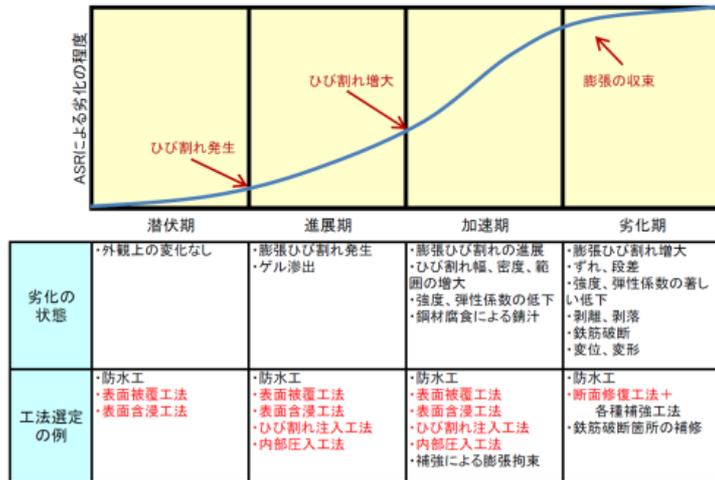
ASRによる劣化対策フロー(3.3)



詳細は、
39頁参照

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
赤文字は亜硝酸リチウムを使用可能な工法を示す

5. 劣化要因別の補修工法の紹介

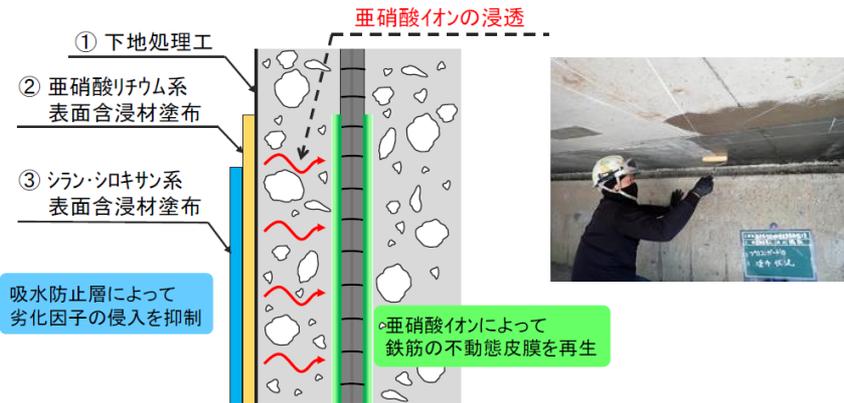
□ 鉄筋の防食として（塩害・中性化対策）

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

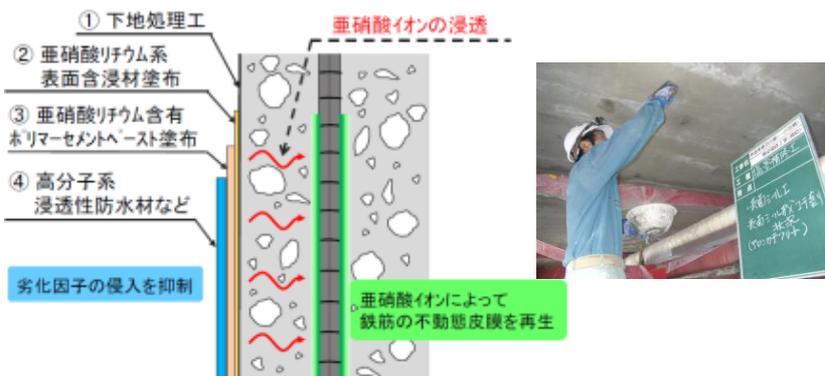
表面含浸工法、表面被覆工法、ひび割れ注入工法
内部圧入工法

表面含浸工法(鉄筋の防食)



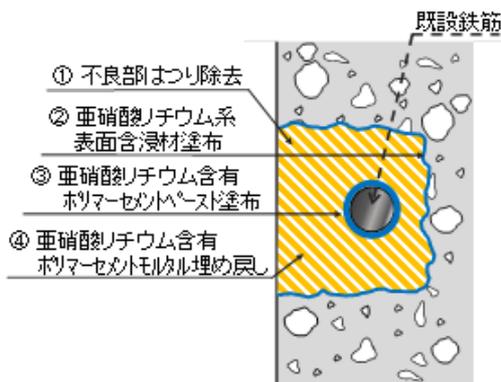
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
鉄筋の不動態皮膜を再生する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

表面被覆工法(鉄筋の防食)



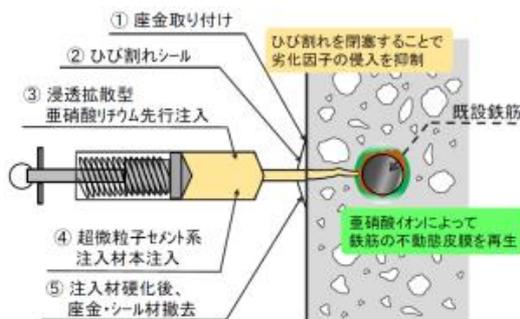
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有の
ポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生
高分子系浸透性防水材は劣化因子の侵入抑制

断面修復工法(鉄筋の防食)



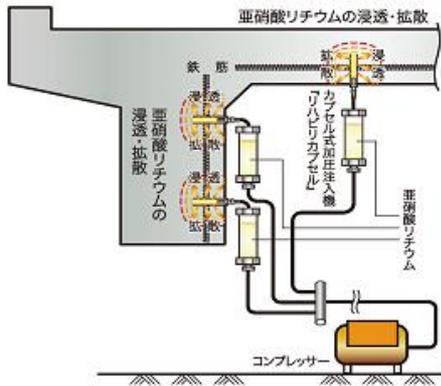
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有のポリマーセメントペースト塗布により鉄筋の不動態皮膜を再生
埋め戻し材は亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル

ひび割れ注入工法(鉄筋の防食)



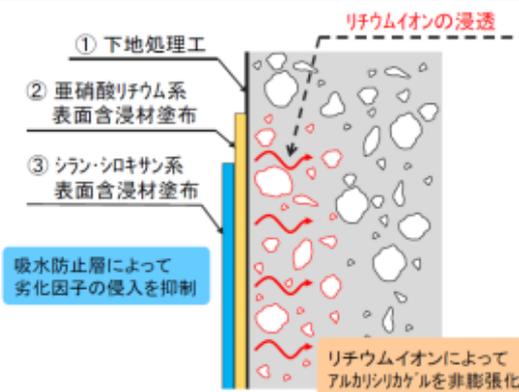
浸透拡散型亜硝酸リチウムの先行注入により鉄筋の不動態皮膜を再生
超微粒子系注入材は劣化因子の侵入防止

簡易型内部圧入工法(鉄筋の防食)



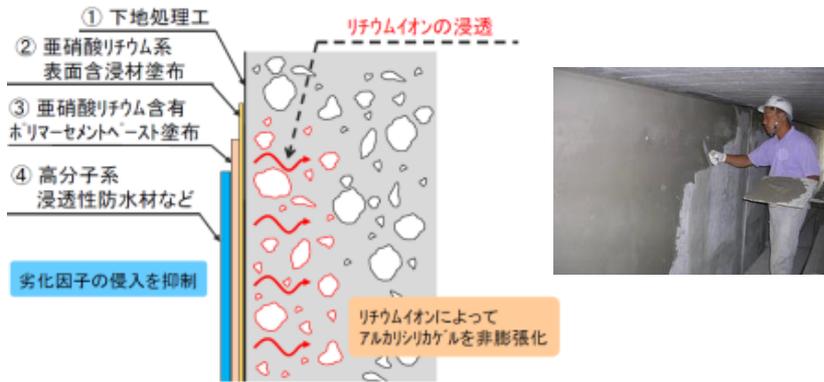
浸透拡散型亜硝酸リチウムの圧入により
鉄筋の不動態皮膜を再生

表面含浸工法(ASR対策)



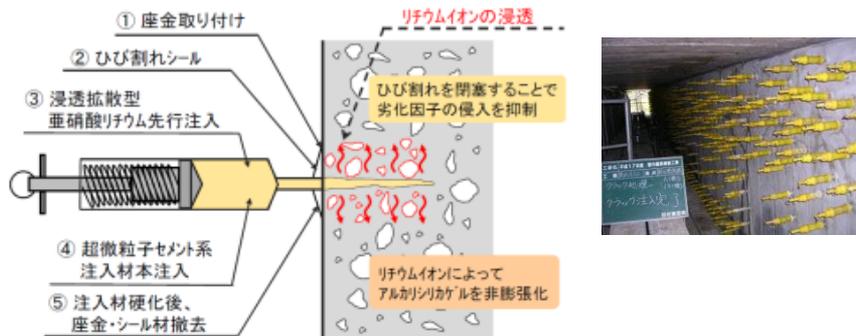
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布により
アルカリシリカゲルの非膨張化する工法
シラン・シロキサン系表面含浸材は劣化因子の侵入抑制

表面被覆工法(ASR対策)



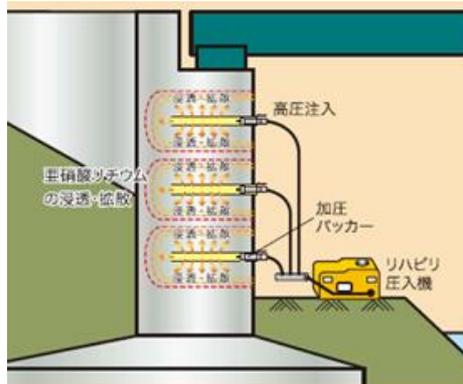
亜硝酸リチウム系表面含浸材の塗布および同材含有のポリマーセメントペースト塗布によりアルカリシリカゲルを非膨張化
高分子系浸透性防水材料は劣化因子の侵入抑制

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

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

6. 工法別の補修工法の紹介

□ 表面含浸工法

詳細は、
40頁参照

使用材料、設計値、施工管理の事例

□ 表面被覆工法と管理の事例

詳細は、
67頁参照

□ 断面修復工法と管理の事例

詳細は、
87頁参照

□ ひび割れ注入工法の事例

詳細は、
111頁参照

□ 内部圧入工法の事例

詳細は、
127頁参照

□ 簡易型内部圧入工法の事例

詳細は、
161頁参照

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/m²

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

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/cm ³
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

塩化物イオン量に対しての設計塗布量

深さ	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

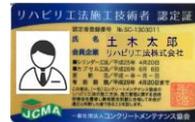
標準塗布量 0.3 kg/m²
塩化物イオン量に応じて増量

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

施工手順



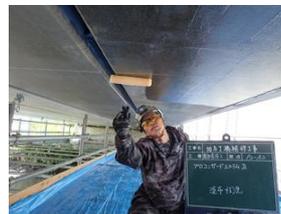
下地処理



12時間以上
養生後に
表面水分率
測定
(6%以下)



亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布



シラン・シロキサン系表面含浸材塗布

養生
12時間

品質管理・出来形管理

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	備考
【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	

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)



亜硝酸リチウム40%水溶液を混入した
ポリマーセメントモルタルを塗布

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**

ひび割れ注入工法の事例

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

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



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

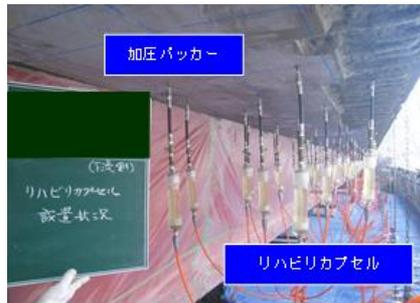


擁壁のASR補修事例



大型供試体によるASR抑制効果検証実験

簡易型圧入工法的事例



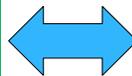
カプセル式内部圧入工法
適用範囲: 塩害、中性化による
劣化およびASRによる劣化



ベビーコンプレッサ
(小型・軽量で可能)

7. 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