

センク21様講習会資料

亜硝酸リチウムを用いた補修技術 の概要と港湾構造物への適用

2023年3月1日

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会

<https://www.j-cma.jp/>

主な内容

1. 亜硝酸リチウム
 - 塩害、ASRの劣化メカニズム
 - 亜硝酸リチウムによる劣化抑制メカニズム
2. 亜硝酸リチウムを用いたコンクリート補修技術
 - ひび割れ注入工
 - 表面含浸工
 - 断面修復工
 - 内部圧入工
3. 港湾構造物への適用
 - 適用事例
 - 効果検証と追跡調査結果

1. 亜硝酸リチウム

塩害の劣化事例

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物（部材）の性能低下が生じる

不動態皮膜と鉄筋腐食

・塩害、中性化は共にコンクリート内部の鋼材腐食による性能低下
・鋼材が腐食環境（不動態皮膜の破壊）となる原因が塩害と中性化で異なる

【塩害】
高い塩化物イオン量により不動態皮膜が破壊される
↓
鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離

【中性化】
コンクリートのpHの低下により不動態皮膜が破壊される
↓
鋼材腐食 → ひび割れや浮き剥離

鉄筋 (Fe) アノード部 カソード部

アノード部 $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$
 カソード部 $H_2O + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$
 $Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$ (水酸化第一鉄)
 $Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3$ (水酸化第二鉄)
 $Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ (赤錆)

ASRの劣化事例

ASRによるひび割れはゲルの吸水膨張に起因し、鉄筋腐食とは無関係に進行する
ただし、ASRひび割れが起点となって鉄筋腐食が進行することもある

アルカリシリカゲルの生成と膨張

・ 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反応
 ・ 1986年のASR規制以前に建設された構造物に多く見られる

第1ステージ
「アルカリシリカゲルの生成」

【化学式】
 $n\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

第2ステージ
「アルカリシリカゲルの膨張」

【化学式】
 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$

アルカリシリカゲルの吸水膨張反応によりコンクリートにひび割れが発生

亜硝酸リチウムの効果

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果
リチウムイオンによるASR膨張抑制効果

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

・ 亜硝酸イオン、リチウムイオンを含有する水溶液
 ・ 原材料は「天然ガス」と「リシア輝石」
 ・ 濃度は40% (限界濃度)

Lithium Nitrite ; LiNO_2

亜硝酸イオンの効果 : 不動態皮膜の再生

不動態皮膜が破壊され、鉄筋が腐食している状態

鉄筋周囲に亜硝酸イオン (NO_2^-) が供給されると...

再生された不動態皮膜

亜硝酸イオン (NO_2^-) による不動態皮膜再生メカニズム

・ 亜硝酸イオンの存在により、鉄筋の腐食を抑制することができる
 ・ あとは、鉄筋位置に亜硝酸イオンを供給する手段を考えればよい!
 ⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

リチウムイオンの効果 : ASRゲルの非膨張化

【アルカリシリカゲルの吸水膨張】

【化学式】
 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$

【リチウムによるゲルの非膨張化】

【化学式】
 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

イオン交換

リチウムイオン (Li^+) によるアルカリシリカゲルの非膨張化

・ リチウムイオンの存在により、アルカリシリカゲルが非膨張化する
 ・ あとは、ゲルにリチウムイオンを供給する手段を考えればよい!
 ⇒ 亜硝酸リチウムを用いた各種補修工法

亜硝酸リチウム必要量の基本的な考え方

【塩害の場合】

- 鉄筋腐食を抑制する亜硝酸イオンの量
- $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ モル比=1.0となる量
- コンクリート中の塩化物イオン含有量 (試験値) に応じて算定
 例) 塩化物イオン $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ ⇒ 亜硝酸リチウム $18.67\text{kg}/\text{m}^3$

【ASRの場合】

- アルカリシリカゲルの膨張を抑制するリチウムイオンの量
- $[\text{Li}^+]/[\text{Na}^+]$ モル比=0.8となる量
- コンクリート中のアルカリ含有量 (試験値) に応じて算定
 例) アルカリ含有量 $4.0\text{kg}/\text{m}^3$ ⇒ 亜硝酸リチウム $13.67\text{kg}/\text{m}^3$

※上記の「亜硝酸リチウム」の量は「亜硝酸リチウム40%水溶液」としての量を示す

亜硝酸リチウム必要量の基本的な考え方

亜硝酸リチウム必要量【塩害】

亜硝酸リチウム必要量【ASR】

・ 塩化物イオン量やアルカリ含有量から、亜硝酸リチウム必要量を算出。
 ・ ただし、補修工法によって亜硝酸リチウムの物理的な供給可能量が異なる。
 ↓
 ・ 工法毎にどのように亜硝酸リチウムを供給し得るのかを考慮して設計する。

コンクリート診断士の試験問題にも

【問題 41】
鉄筋コンクリート部材に生じる劣化現象およびそれを抑制するための対策の目的と適用する工法の次の組合せのうち、不適当なものはどれか。

| 劣化現象および対策の目的 | 適用する工法 |
|------------------------|-----------------------|
| (1) 中性化 二酸化炭素の浸入抑制 | アクリル樹脂を用いる 表面修繕工法 |
| (2) 腐食 鋼材の腐食反応の抑制 | 外部電源方式を用いる 電気防食工法 |
| (3) 腐食 水分の浸入抑制 | 有機リン化合物を用いる 表面修繕工法 |
| (4) アルカリシリカ反応 反応の抑制 | 亜硝酸リチウムを用いる 表面修繕工法 |

【2008年出題】

【問題 39】
鉄筋コンクリート部材の劣化機構と、適用する材料および補修工法に関する次の(1)～(4)の組合せのうち、最も不適当なものはどれか。

| 劣化機構 | 適用する材料および補修工法 |
|---------------|----------------------|
| (1) 中性化 | 有機リン化合物を用いた表面修繕工法 |
| (2) 腐食 | シラン系浸透性被膜剤を用いた表面修繕工法 |
| (3) アルカリシリカ反応 | 亜硝酸リチウム溶液を用いた表面修繕工法 |
| (4) 塩析腐食 | ポリウレタン樹脂を用いた表面修繕工法 |

【2011年出題】

【問題 36】
会設計中の工区とその劣化対策を用いた最善工法に実行される効果に関する次の(1)～(4)の組合せのうち、不適当なものはどれか。

| 劣化対策の選定 | 期待される効果 |
|----------------|----------------------|
| (1) 亜硝酸リチウム | 劣化機構の抑制 |
| (2) 有機シリケート | コンクリート内部の密閉化 |
| (3) アルミアルコキシラン | 二酸化炭素の浸入防止 |
| (4) 有機シリケート | 中性化したコンクリートのアルカリ性の増大 |

【2013年出題】

2. 亜硝酸リチウムを用いた コンクリート補修技術

亜硝酸リチウム設計・施工指針（案）

コンクリート構造物を対象とした
亜硝酸リチウムによる
補修の設計・施工指針(案)
第2版

委員 長：十河茂幸
幹 事 長：江良和徳
幹 事 員：徳納 剛、峯松昇司
編 集 委 員：竹田宣典、濱崎 仁、牛島 栄、小椋明仁、
岡田繁之、真鍋英規、福田杉夫、須藤裕司、
勸田泰邦
アドバイザー：宮川豊章、柳田佳寛、添田政司、松田 浩、
鎌田敏郎、久田 真、小林孝一、上田隆雄、
久保善司、山本貴士、黒田 保、井上真澄、
李 春鶴、富山 潤、川崎佑磨、植原弘貴、
高谷 哲、平田隆洋、谷口秀明、野村昌弘、
内田博之、堀 孝廣

編集委員会の構成

亜硝酸リチウム設計・施工指針（案）

【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. 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法の設計・施工
2. 亜硝酸リチウム併用型表面被覆工法の設計・施工
3. 亜硝酸リチウム併用型断面修復工法の設計・施工
4. 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法の設計・施工
5. 亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工
6. 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の設計・施工

本指針（案）の目次構成

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法 『リハビリシリンダー工法』

リハビリシリンダー工法

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法 【リハビリシリンダー工法】

- 自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- 亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- 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

期待できる性能、効果

基本性能：『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』
付加価値：『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法

リハビリシリンダー工法のメリット

- 単なる劣化因子の遮断だけでなく、**亜硝酸リチウムの効果**を付与
塩害・中性化 : 鉄筋腐食抑制
ASR : ASRゲル膨張抑制
- 無機系であるため、**ひび割れ内部が湿潤**でも施工可能
- 超微粒子セメント系であるため、**流動性**は有機系注入材と同等

リハビリシリンダー工法のデメリット

- 無機系であるため、**ひび割れ追従性**はない
- 無機系であるため、エポキシ樹脂系に比べて**付着強度**が低い

リハビリシリンダー工法の適用範囲

- ひび割れ幅0.2mm~5mmのひび割れ補修
- 施工時の外気温0℃~40℃

19

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工法

国土交通省の標準歩掛に準拠して積算することができる

- 1構造物あたりひび割れ述べ延長25m以上の場合の積算例
(ひび割れ幅0.2~1.0mm、深さ120mmの場合)

10mあたり

| 名称 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 |
|--------------|----|------|--------|--------|
| 土木一般世話役 | 人 | 0.58 | 22,400 | 12,992 |
| 特殊作業員 | 人 | 0.96 | 21,400 | 20,544 |
| 普通作業員 | 人 | 0.71 | 18,900 | 13,419 |
| 亜硝酸リチウム | kg | 1.17 | 8,000 | 9,360 |
| 超微粒子セメント系注入材 | kg | 1.08 | 1,400 | 1,512 |
| シール材 | kg | 2.6 | 1,019 | 2,649 |
| 注入器 | 本 | 40 | 360 | 14,400 |
| 諸雑費 | % | 20 | | 9,391 |
| 計 | | | | 84,267 |
| 1mあたり | | | | 8,427 |

※労務単価 : 広島県 令和4年度

20

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法 『プロコンガードシステムS』

NETIS : CG-190024-A



21

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法

【プロコンガードシステムS】 NETIS : CG-190024-A



- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②浸透拡散型亜硝酸リチウムを塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③シラン・シロキサン系含浸材を塗布し、撥水層を形成する ⇒ 劣化因子の遮断

期待できる性能、効果

- 基本性能 : 『シラン・シロキサン系含浸材による劣化因子の遮断』
- 付加価値 : 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

22

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法

プロコンガードシステムSのメリット

- 単なる劣化因子の遮断だけでなく、**亜硝酸リチウムの効果**を付与
塩害・中性化 : 鉄筋腐食抑制
ASR : ASRゲル膨張抑制
- 塩化物イオン量に応じて**亜硝酸リチウム塗布量**を定量的に設定
亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比1.0となる量

プロコンガードシステムSのデメリット

- 2種類の材料を塗布しなければならない

プロコンガードシステムSの適用範囲

- 一般的な表面含浸工法の適用範囲は基本的に「潜伏期」となる
- それに対し、劣化因子遮断だけでなく鉄筋腐食抑制も期待できるため、「潜伏期」を超えて「**進展期**」や「**加速期前期**」まで適用可能
- 施工時外気温0℃~40℃

23

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法

コンクリートメンテナンス協会歩掛に準拠して積算する

- 1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例
(亜硝酸リチウム標準塗布量の場合)

100m²あたり

| 名称 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 |
|---------------------|----|------|--------|---------|
| 土木一般世話役 | 人 | 2.0 | 22,400 | 44,800 |
| 特殊作業員 | 人 | 6.0 | 21,400 | 128,400 |
| 普通作業員 | 人 | 2.0 | 18,900 | 37,800 |
| 亜硝酸リチウム系含浸材 | kg | 33.0 | 8,000 | 264,000 |
| シラン・シロキサン系含浸材 | kg | 19.8 | 9,700 | 192,060 |
| 諸雑費 | % | 5 | | 10,550 |
| 計 | | | | 677,610 |
| 1m ² あたり | | | | 6,776 |

※労務単価 : 広島県 令和4年度

24

亜硝酸リチウム併用型断面修復工法 『リハビリ断面修復工法』

NETIS : CG-220003-A




25

亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

【リハビリ断面修復工法】 NETIS : CG-220003-A




- ① 不良部はつり除去
- ② 亜硝酸リチウム系表面含浸材塗布
- ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタル埋め戻し
亜硝酸リチウムの混入量 固形分55kg/m³
- ④ ポリマーセメントモルタル埋め戻し

①はつり深さは鉄筋を半分程度露出させる程度まで
 ②露出した鉄筋表面をクレンした後、亜硝酸リチウムを塗布する ⇒ 鉄筋防錆
 ③亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルにて、鉄筋を10mm覆う厚さまで断面を修復する ⇒ 鉄筋防錆
 このときの亜硝酸リチウム混入量は137.5kg/m³ (固形分で55kg/m³)
 ④残りの表層部分をポリマーセメントモルタルにて埋め戻す

26

亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

リハビリ断面修復工法のメリット

- ・はつり深さを低減（最小化）することができる ⇒ 経済性の向上 ⇒ 環境負荷の低減
- ・亜硝酸リチウム混入量の根拠はNEXCO設計要領第2集に準拠

リハビリ断面修復工法のデメリット

- ・断面修復材の配合が2種類となり、手間が増える ⇒ ただし、歩掛は国交省標準歩掛に準拠するため、経済性には影響を与えない

リハビリ断面修復工法の適用範囲

- ・鉄筋腐食に起因するコンクリート浮き、剥離、剥落の全般に適用
- ・施工時外気温0℃～40℃

27

亜硝酸リチウム併用型断面修復工法

国土交通省の標準歩掛に準拠して積算することができる

- ・1構造物あたり断面修復述べ体積0.1m³以上の場合の積算例 (左官工法、鉄筋クレン・防錆処理含む)

0.1m³あたり

| 名称 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 |
|---------------------|----|-------|--------|-----------|
| 土木一般世話役 | 人 | 2.3 | 22,400 | 51,520 |
| 特殊作業員 | 人 | 3.8 | 21,400 | 81,320 |
| 普通作業員 | 人 | 2.5 | 18,900 | 47,250 |
| ポリマーセメントモルタル | kg | 206.5 | 260 | 53,690 |
| 亜硝酸リチウム | kg | 16.2 | 8,000 | 129,840 |
| 諸雑費 | % | 11 | | 19,810 |
| 計 | | | | 383,430 |
| 1m ³ あたり | | | | 3,834,299 |

※労務単価：広島県 令和4年度

28

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法 『リハビリカプセル工法』

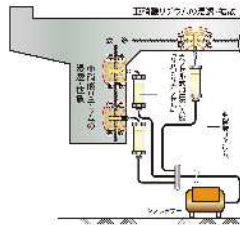

NETIS : CG-120005-VR




29

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法

【リハビリカプセル工法】 NETIS : CG-120005-VR

- ① コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を500mmの間隔で行う
- ② カプセル式圧入装置にて亜硝酸リチウムを鉄筋周囲に内部圧入する ⇒ 不動態皮膜の早急かつ確実な再生

期待できる性能、効果
 基本性能：『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

30

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法



31

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法

リハビリカプセル工法のメリット

- ・亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果を最も積極的に活用
- ・塩害の場合、塩化物イオン濃度に応じて亜硝酸リチウム圧入量を定量的に設定

リハビリカプセル工法のデメリット

- ・イニシャルコストとしての施工費が高価となる

- ・ただしLCCで考えると安価となることがある ⇒ **メリット**

リハビリカプセル工法の適用範囲

- ・塩害、中性化の場合、変状が生じている「加速期前期」以降での適用が多い
- ・プレストレストコンクリート部材への適用は現時点で実績なし（適用に向けて研究開発に着手）
- ・塩化物イオン濃度が過度に含まれている場合は詳細検討が必要（上限の塩化物イオン濃度の目安：10kg/m³程度）

32

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法

コンクリートメンテナンス協会歩掛りに準拠して積算する

- ・1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例（塩害補修、塩化物イオン4.0kg/m³の場合）

100m²あたり

| 名称 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 |
|---------------------|----------------|-------|-------|-----------|
| 下地処理工 | m ² | 100.0 | 2,163 | 216,300 |
| 鉄筋探査工 | m ² | 100.0 | 1,458 | 145,800 |
| 圧入孔位置出し工 | m ² | 100.0 | 883 | 88,300 |
| 圧入孔削孔工 | m | 46.0 | 7,399 | 340,354 |
| パッカー・カプセル取付工 | 孔 | 460 | 5,284 | 2,430,640 |
| 圧入ホース配置工 | 孔 | 460 | 883 | 406,180 |
| 圧入工 | 孔 | 460 | 4,625 | 2,127,500 |
| 亜硝酸リチウム | kg | 156.9 | 8,000 | 1,255,200 |
| 圧入孔充填工 | 孔 | 460 | 1,009 | 464,140 |
| 表面保護工 | m ² | 100.0 | 4,067 | 406,700 |
| 計 | | | | 7,881,114 |
| 1m ² あたり | | | | 78,811 |

33

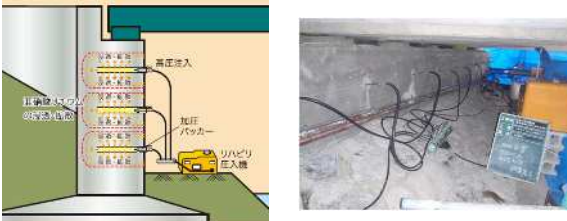
亜硝酸リチウム内部圧入工法 『ASRリチウム工法』



34

亜硝酸リチウム内部圧入工法

【ASRリチウム工法】



- ①コンクリートにφ20mmの削孔を750mm間隔で行う
- ②圧入装置にて亜硝酸リチウムを部材全体に内部圧入する ⇒ アルカリシリカゲルの非膨張化

期待できる性能、効果
基本性能：『リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化』

35

亜硝酸リチウム内部圧入工法



36

亜硝酸リチウム内部圧入工法

ASRリチウム工法のメリット

- ・ 亜硝酸リチウムによるASRゲル膨張抑制効果を最も積極的に活用
- ・ アルカリ総量に応じて亜硝酸リチウム圧入量を定量的に設定

ASRリチウム工法のデメリット

- ・ イニシャルコストとしての施工費が高価となる
- ・ ただしLCCで考えると安価となることがある ⇒ **メリット**

ASRリチウム工法の適用範囲

- ・ ASRの場合、変状が生じている「進展期」以降での適用が多い
- ・ プレストレストコンクリート部材への適用は現時点で実績なし（適用に向けて研究開発に着手）
- ・ 残存膨張性が無害の場合には適用する意味がない

37

亜硝酸リチウム内部圧入工法

ASRリチウム工法協会歩掛りに準拠して積算する

- ・ 1構造物あたり施工面積100m²以上の場合の積算例
(橋脚、ASR補修、アルカリ総量4.0kg/m³) 100m²あたり

| 名称 | 単位 | 数量 | 単価 | 金額 |
|---------------------|----------------|-------|--------|------------|
| 下地処理工 | m ² | 100.0 | 2,163 | 216,300 |
| 表面シール工 | m ² | 100.0 | 2,537 | 253,700 |
| 鉄筋検査工 | m ² | 40.0 | 1,458 | 58,320 |
| 圧入孔位置出し工 | m ² | 40.0 | 883 | 35,320 |
| 圧入孔削孔工 | m | 80 | 19,533 | 1,562,640 |
| 加圧バツカー装着工 | 孔 | 100 | 20,208 | 2,020,800 |
| 新圧ホース配管工 | 孔 | 100 | 4,415 | 441,500 |
| 試験加圧注入工 | 孔 | 100.0 | 15,308 | 1,530,900 |
| 本加圧注入工 | 孔 | 100 | 23,611 | 2,361,100 |
| 亜硝酸リチウム | kg | 401.9 | 8,000 | 4,015,360 |
| 圧入孔充填工 | 孔 | 100 | 1,766 | 176,600 |
| 表面シール撤去工 | m ² | 100.0 | 4,067 | 406,700 |
| 表面保護工 | m ² | 100 | 4,067 | 406,700 |
| 計 | | | | 14,285,940 |
| 1m ² あたり | | | | 142,859 |

38

亜硝酸リチウムを用いた各工法の施工実績

亜硝酸リチウム併用型表面保護工 【リハビリ被覆工法】 【プロコンガードシステムS】 【プロコンガードシステム】

施工実績計：686件
(2022年4月現在)



39

亜硝酸リチウムを用いた各工法の施工実績

亜硝酸リチウム併用型断面修復工 【リハビリ断面修復工法】

施工実績計：337件
(2022年4月現在)

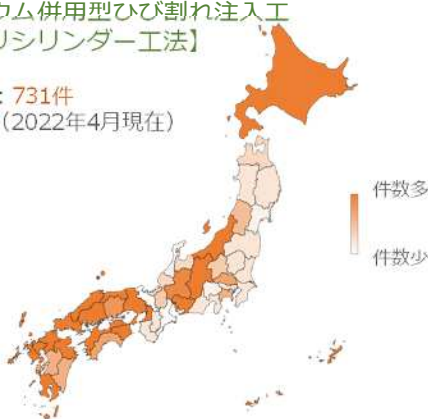


40

亜硝酸リチウムを用いた各工法の施工実績

亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工 【リハビリシリンダー工法】

施工実績計：731件
(2022年4月現在)

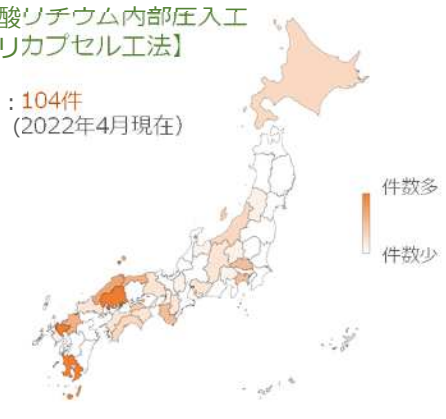


41

亜硝酸リチウムを用いた各工法の施工実績

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工 【リハビリカプセル工法】

施工実績計：104件
(2022年4月現在)



42

亜硝酸リチウムを用いた各工法の施工実績

亜硝酸リチウム内部圧入工
【ASRリチウム工法】

施工実績計：108件
(2022年4月現在)



43

3. 港湾構造物への適用

44

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバース塩害補修～



■ 工事概要

工事名：広島ガス(株)海田基地
5,000tバース補修工事

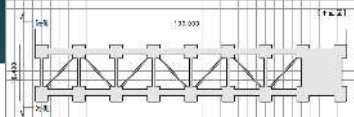
工事場所：広島県安芸郡海田町

工事内容：以下のとおり

- ・ひび割れ注入工 4,600m
- ・断面修復工 23.5m³
- ・表面保護工 2,050m²
- ・内部圧入工 755m²

5,000tバースについて

- ・5,000t級の船舶が停泊可能設
- ・バイオマスおよび石炭の受入れ施設



45

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバース塩害補修～

【5,000tバース全景】



46

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバース塩害補修～

【塩害による劣化状況】



鉄筋腐食
コンクリート剥落
塩化物イオン含有量
最大4.2kg/m³

【ASRによる劣化状況】



亀甲状ひび割れ
部材水平方向ひび割れ
アルカリ含有量
3.8kg/m³

47

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバース塩害補修～

【塩害の調査結果】

- ・はり部および床版部はコンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出
- ・はつり調査にて主鉄筋、配力鉄筋の広範囲に腐食が発生
- ・塩化物イオン含有量試験では最大4.2kg/m³ (腐食発生限界2.0kg/m³)
⇒著しい鉄筋腐食環境にあると判断

【ASRの調査結果】

- ・はり部および床版部に亀甲状または水平方向のひび割れが多数発生
- ・アルカリ含有量は3.8kg/m³
⇒ASRによる劣化を生じる環境にあると判断



【評価】

- ・本構造物は塩害とASRとの複合劣化である
⇒その両方の劣化機構に対して補修効果が期待できる工法を選定する

48

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～

【補修工法の比較検討】
 ・補修後の維持管理シナリオを考慮した補修工法の比較検討がなされた

シナリオ① 劣化原因を根本的に解決し、以後の再劣化を許容しない
 ⇒鉄筋腐食の進行を根本的に止める
 ASR膨張の進行を根本的に止める

↓

亜硝酸リチウム内部圧入工法を核とした補修
 イニシャルコストでは高価だが、LCCでは安価となる

シナリオ② 必要最低限の対策を講じ、定期的に再補修を繰り返す
 ⇒ひび割れ、浮き、剥離等の変状への対処療法的補修を行う
 補修後も再劣化することを想定し、定期的な再補修計画を設定

↓

ひび割れ注入、断面修復、表面保護の組み合わせによる補修

49

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～


【補修工法の選定】
 ・発注者の最終判断は『シナリオ①』
 ・採用された補修工法は以下のとおり

- 事前処理として適用した工種
 ひび割れ箇所 ⇒ 亜硝酸リチウム併用型ひび割れ注入工
 『リハビリシリンダー工法』
 浮き剥離箇所 ⇒ 亜硝酸リチウム併用型断面修復工
 『リハビリ断面修復工法』
- 塩害、ASRの根本的な対策として適用した工種
 コンクリート全体 ⇒ 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工
 『リハビリカプセル工法』
- 表面仕上工として適用した工種
 コンクリート表面全体 ⇒ 亜硝酸リチウム併用型表面保護工
 『リハビリ被覆工法』

50

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～

【リハビリシリンダー工法の施工状況】



51

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～

【リハビリ断面修復工法の施工状況】



52

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～

【リハビリカプセル工法の施工状況】



53

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000tバス塩害補修～

【5,000tバス補修工事 現場見学会】



54

港湾構造物への適用事例 ～広島ガス5000バス塩害補修～

竣工写真
 広島ガス5000バスのRC橋脚。塩害による劣化が顕著な箇所を、亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法「プロコンガードシステムS」にて補修した様子。

竣工写真
 補修後の様子。表面が滑らかになり、劣化が抑制されている。

丈夫で美しく長持ちするコンクリート構造物へ。

採用理由：

- ・ 鉄筋位置の塩化物イオン濃度が高い
 ⇒ 不動態皮膜の破壊、鉄筋腐食開始
- ・ 予防保全段階ではあるが、劣化因子の遮断だけでは不十分
 ⇒ 鉄筋腐食抑制効果をもつ表面含浸工法

鉄筋腐食は開始しているものの、このままひび割れを発生させないことを目的とした予防保全として、『プロコンガードシステムS』が採用となった

塩害補修の事例 ～進展期の予防保全として～

構造物：RC上部工（床版橋）
発注者：佐賀県
劣化：塩害（進展期）
補修：亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法「プロコンガードシステムS」

採用理由：

- ・ 鉄筋位置の塩化物イオン濃度が高い
 ⇒ 不動態皮膜の破壊、鉄筋腐食開始
- ・ 予防保全段階ではあるが、劣化因子の遮断だけでは不十分
 ⇒ 鉄筋腐食抑制効果をもつ表面含浸工法

鉄筋腐食は開始しているものの、このままひび割れを発生させないことを目的とした予防保全として、『プロコンガードシステムS』が採用となった

塩害補修の事例 ～構造物全体の鉄筋腐食抑制を図る～

構造物：RC橋脚
発注者：国土交通省四国地方整備局
劣化：塩害（加速期後期、内在塩分）
補修：亜硝酸リチウム内部圧入工「リハビリカプセル工法」

採用理由：

- ・ 広範囲にコンクリートの浮き、剥離
 ⇒ そこは必然的に部分断面修復
- ・ 問題は、断面修復部以外の範囲をどうするか？
 ⇒ 同じ腐食環境にあれば、将来的には鉄筋腐食が進行することは明らか
 ⇒ 断面修復部以外にも亜硝酸リチウムを供給して、構造物全体の鉄筋腐食進行を根本的に抑制する

**浮き、剥離箇所：『リハビリ断面修復工法』
 それ以外の全体：『リハビリカプセル工法』**

ASR補修の事例 ～ASR膨張性が有害、水分遮断が困難など～

構造物：橋台、橋脚など多数
劣化：ASR（進展期～加速期、膨張性が有害）
補修：亜硝酸リチウム内部圧入工「ASRリチウム工法」

採用理由の例：

- ・ 過去の表面被覆工によるASR補修が再劣化
 ⇒ 従来工法ではASR進行を阻止できない
- ・ 外部からの水分侵入を完全に抑制できない
 ⇒ 一般工法によるASR補修の限界
- ・ 交差条件等により構造物に近接するの困難
 ⇒ 何度も補修工を実施したくない

さまざまな理由により、再劣化を許容しない維持管理シナリオが有利となる場面がある ⇒ ASRリチウム工法の活用

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の効果確認

塩害、中性化の補修後は下記の方法により確認できる

- (1) 外観目視調査（ひび割れ、錆汁の有無）
- (2) 鉄筋の自然電位、分極抵抗の計測

MO：圧入なし M1：モル比 1.0

⇒ 亜硝酸リチウムを圧入することで、電位が貴化することを確認

参考文献
 広島県：塩害劣化環境下における亜硝酸リチウムの圧入層が異なるコンクリートの長期的な防錆性能の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.42 No.1,2020

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の効果確認

ASRの補修後は下記の方法により確認できる

- (1) 外観目視調査（ひび割れ進展の有無）
- (2) 施工前後の促進養生試験結果を比較する

判定の目安 0.05%

促進養生試験結果の例（JCI-S-011法でのイメージ）

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積 (2002年～2012年)

| 年度 | 名称 | 発注者 | 残存膨張率(%) 【施工前】 | 残存膨張率(%) 【施工後】 | 備考 |
|------|------------|------|-------------------|-------------------|----------|
| 2002 | 日御碕地区 砂坊 | 鳥根県 | 0.055 | 0.006 | JCI-DD2法 |
| 2003 | 海田高架橋 | 中国地産 | 0.045 | 0.020 | JCI-DD2法 |
| 2004 | 陶橋 | 四国地産 | 0.081 | 0.018 | JCI-DD2法 |
| 2010 | 米岡小橋 | 鳥取県 | 0.064 | 0.029 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 湯村大橋 | 鳥根県 | 0.065 | 0.019 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 山内高架橋 第1工区 | 佐賀県 | 0.180 | 0.029 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 上関大橋 | 山口県 | - | 0.020 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 大橋 | 香川県 | - | 0.039 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 柳山大橋 | 香川県 | 0.213 | 0.008 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 山内高架橋 第2工区 | 佐賀県 | 0.180 | 0.031 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 山内高架橋 第3工区 | 佐賀県 | 0.180 | 0.021 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 石川橋 | 香川県 | - | 0.007 | JCI-DD2法 |
| 2012 | 横川橋 | 香川県 | 0.133 | 0.026 | JCI-DD2法 |

61

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積 (2013年～2016年)

| 年度 | 名称 | 発注者 | 残存膨張率(%) 【施工前】 | 残存膨張率(%) 【施工後】 | 備考 |
|------|------------|----------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 2013 | 奥宮新橋 | 山形県 | 0.272 | 0.016 | カナダ法 |
| 2013 | 中瀬橋 | 徳島県 | 0.136 | 0.024 | カナダ法【施工前】 JCI-DD2法【施工後】 |
| 2013 | 鉄塔基礎 No.78 | 民間 | - | 0.003 | JCI-DD2法 |
| 2014 | 仁多大橋 | 鳥根県 | 0.280 | 0.024 | カナダ法【施工前】 JCI-DD2法【施工後】 |
| 2014 | 鉄塔基礎 No.69 | 民間 | - | 0.005 | JCI-DD2法 |
| 2014 | 鉄塔基礎 No.75 | 民間 | - | 0.004 | JCI-DD2法 |
| 2014 | 神頭橋 | 徳川町(香川県) | 0.047 | 0.038 | JCI-DD2法 |
| 2014 | 豊橋 | 鳥根県 | - | 0.024 | JCI-DD2法 |
| 2015 | 石井橋 | 鳥取県 | 0.092 | 0.016 | JCI-DD2法 |
| 2015 | 今川立坑 | 大阪府 | - | 0.083 | カナダ法 |
| 2016 | 奥谷橋 | 鳥根県 | 0.092 | 0.018 | JCI-DD2法 |
| 2016 | 匠島大橋 1工区 | 高松市 | 0.296 | 0.084 | カナダ法 |
| 2016 | 高貝橋 | 鳥根県 | 0.232 | - | カナダ法 |

62

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の効果確認

施工後の促進養生試験結果の蓄積 (2016年～2018年)

| 年度 | 名称 | 発注者 | 残存膨張率(%) 【施工前】 | 残存膨張率(%) 【施工後】 | 備考 |
|------|------------|-----|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 2018 | 新吾谷橋 第1期 | 鳥根県 | 0.061 | 0.017 | JCI-DD2法 |
| 2016 | 京見橋 | 兵庫県 | 0.051 | 0.020 | JCI-DD2法 |
| 2017 | 新吾谷橋 第2期 | 鳥根県 | 0.061 | 0.011 | JCI-DD2法 |
| 2017 | 花仙橋 | 鳥根県 | 0.210 | 0.004 | カナダ法【施工前】 JCI-DD2法【施工後】 |
| 2017 | 城島高架橋 | 松江市 | - | 0.024 | JCI-DD2法 |
| 2017 | 城島高架橋 その2 | 松江市 | - | 0.024 | JCI-DD2法 |
| 2017 | 高砂大橋 | 高砂市 | 0.423 | 0.017 | カナダ法【施工前】 JCI-DD2法【施工後】 |
| 2017 | 鉄塔基礎 No.40 | 民間 | - | 0.042 | カナダ法 |
| 2018 | 小女良橋 | 鳥根県 | 0.118 | 0.067 | カナダ法 |
| 2018 | 匠島大橋 3工区 | 高松市 | 0.296 | 0.063 | カナダ法 |
| 2018 | 飯坂橋 4工区 | 鳥取県 | 0.213 | 0.008 | カナダ法 |
| 2018 | 滝谷川橋 | 鳥根県 | 0.334 | 0.032 | カナダ法 |

●ASRリチウム工法の施工後には、ASR膨張性が無害域に低減されていることを確認している

63

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の長期耐久性



- ・一宮橋 (RC床版)
- ・鳥取県
- ・2013年施工 (塩害補修)
- ・施工後7年で再劣化なし



64

亜硝酸リチウム内部圧入工の補修後の長期耐久性



- ・陶橋 (橋台)
- ・国土交通省四国地方整備局
- ・2005年施工 (ASR補修)
- ・施工後14年で再劣化なし



65

ご清聴ありがとうございました

一般社団法人
JGMA コンクリートメンテナンス協会
<https://www.j-cma.jp/>

END

66