

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

(1) 亜硝酸リチウムとは

亜硝酸リチウム (Lithium Nitrite ; LiNO_2) とはコンクリート補修用混和剤として開発された工業用化学製品であり、その原料は「ナフサ」と「リシア輝石」です。ナフサとは原油を蒸留して最初に出てくる物質で、粗製ガソリンとも呼ばれます。リシア輝石とはリチウムの原料となる希少鉱物です。

亜硝酸リチウム (LiNO_2) は、正の電荷を帯びたリチウムイオン (Li^+) と、負の電荷を帯びた亜硝酸イオン (NO_2^-) とがイオン結合した物質で、水に溶けやすい性質を持っており、亜硝酸リチウム水溶液として製品化されています (図 3-1)。色は薄い黄色または青色の透明な水溶液です (図 3-2)。



図 3-1 亜硝酸リチウムの荷姿



図 3-2 亜硝酸リチウムの外観

亜硝酸リチウムの成分のうち、亜硝酸イオンは鉄筋表面の不動態被膜を再生する効果がありますので、塩害や中性化などの鉄筋腐食に起因する劣化の補修材料として適しています。一方、リチウムイオンはアルカリシリカゲルを非膨張化する効果がありますので、ASR 劣化の補修材料として適しています (図 3-3)。

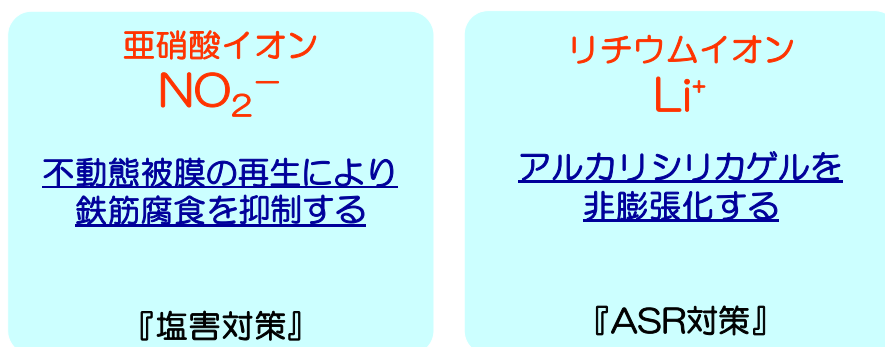


図 3-3 亜硝酸イオンおよびリチウムイオンの効果

(2) 亜硝酸リチウムによる鉄筋腐食抑制効果

亜硝酸リチウムの成分である亜硝酸イオンとリチウムイオンのうち、塩害および中性化の抑制に寄与するのは「亜硝酸イオン」です。塩害と中性化は、劣化要因や劣化メカニズムは異なるものの、両者とも最終的には不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題に帰着します。換言すれば、塩害および中性化の抑制とは、共に鉄筋腐食を抑制することと理解することができます。

亜硝酸イオン (NO_2^-) の防錆効果についての研究成果は、1960年代に入って国内外で多数報告されています。亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制メカニズムには諸説あり、亜硝酸イオンがアノード型インヒビターとして働く酸化剤としての効果（不動態被膜再生効果）、亜硝酸イオンが鉄筋表面に吸着することにより鉄の溶解を抑制する効果などが提唱されており、それらが複合的に働いている可能性もあります。ここで、不動態被膜再生に着目すると、亜硝酸イオン (NO_2^-) は2価の鉄イオン (Fe^{2+}) と反応してアノード部からの Fe^{2+} の溶出を防止し、不動態被膜 (Fe_2O_3) として鉄筋表面に着床することによって鉄筋腐食反応を抑制します。これらを反応式で表すと図 3-4 のようになります。

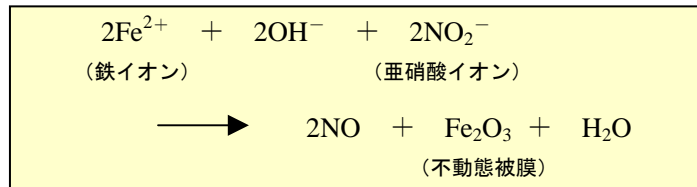


図 3-4 亜硝酸イオンによる不動態被膜の再生

亜硝酸イオン (NO_2^-) と鉄イオン (Fe^{2+}) との反応により不動態被膜が再生されるため、以後の鋼材の腐食は進行しません。これが亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制メカニズムです。図 3-5 に鉄筋腐食の模式図を、図 3-6 に亜硝酸イオンによる不動態被膜の再生の模式図を示します。

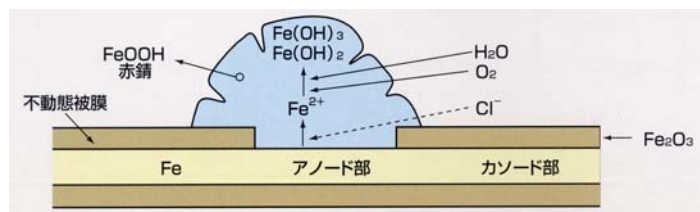


図 3-5 鋼材の腐食

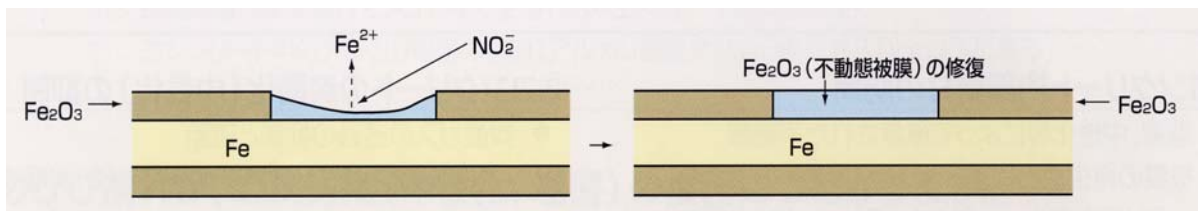


図 3-6 亜硝酸イオンによる不動態被膜の再生メカニズム

(3) 亜硝酸リチウムによる ASR 抑制効果

亜硝酸リチウムの成分である亜硝酸イオンとリチウムイオンのうち、ASR の抑制に寄与するのは「リチウムイオン」です。MacCoy らが 1951 年に発表した論文においてリチウムイオンによる ASR 抑制効果が初めて示され、それ以降、様々なリチウム化合物を用いた ASR 抑制効果に関する多くの実験的研究が国内外でなされています。いずれの研究においても概ね反応性骨材を使用したコンクリートまたはモルタルを練り混ぜる段階で一定量以上のリチウム化合物を供給した場合、ASR 膨張が抑制されることが検証されています。

第 2 章に記述したとおり、ASR の進行過程は第 1 ステージ「骨材中のシリカ鉱物とコンクリート中のアルカリ金属との反応によってアルカリシリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) が形成される過程」と、第 2 ステージ「アルカリシリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) が水分を吸収して膨張する過程」に分離して考えることができます (図 3-7)。ASR の進行過程の反応機構をみると、十分な水、十分なアルカリ金属イオン、および骨材中の反応性シリカの存在、という 3 つの条件が揃ったときに、ASR によるコンクリートの劣化が生じるということが理解できます。換言すれば、これら 3 条件のうちいずれか 1 条件の成立を阻止することにより、ASR によるコンクリートの劣化を抑制することができると考えられます。

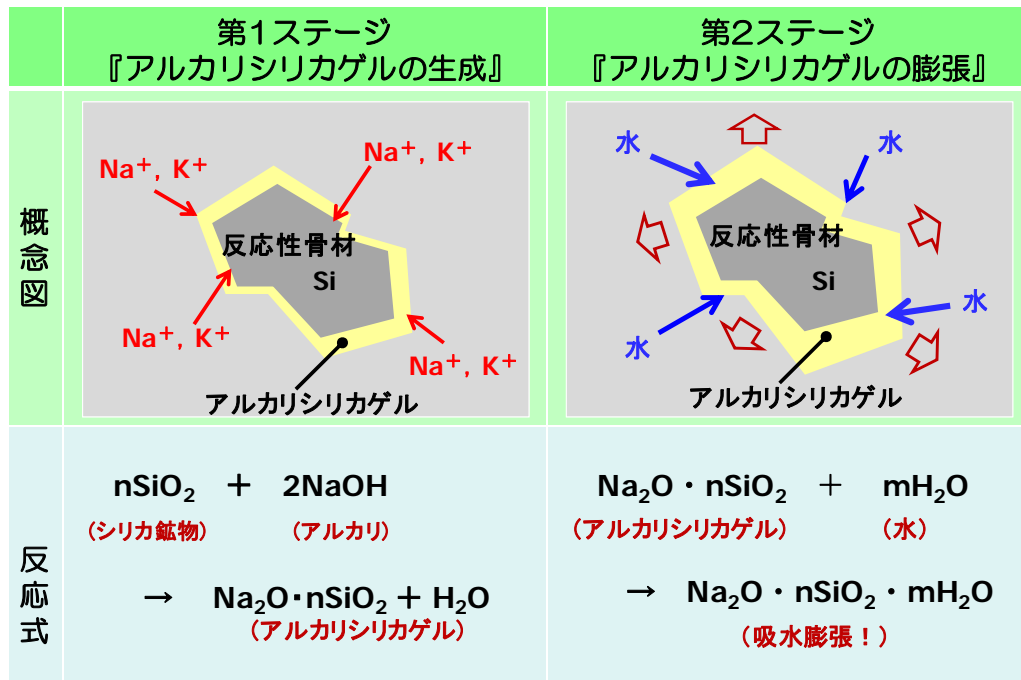


図 3-7 ASR 劣化の進行過程 (再掲)

従来、ASR によって劣化したコンクリート構造物の補修工法として表面保護工により外部からの水分供給を遮断する対策が多く採られてきました。これは図 3-7 中の第 2 ステージに示されるゲルの吸水膨張を阻止することを目的としています。しかし、例えば橋台や擁壁などのように背面土砂側からの水の供給を遮断することが困難な場合もあり、条件によっては外部からの水の供給を完全に遮断することは難しい場合があります。

ここでリチウムイオンが登場します。リチウムイオンによる ASR 膨張抑制メカニズムは諸

説ありますが，現時点ではリチウムイオンがアルカリシリカゲルを非膨張化させるという考え方が一般的です．図 3-7 にて示した ASR の進行過程のうち，リチウムイオンの存在下では第 2 ステージのアルカリシリカゲルの膨張が抑制されます．すなわち，アルカリシリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) にリチウムイオン (Li^+) が供給されることによって，水に対する溶解性や吸湿性を持たないリチウムモノシリケート ($\text{Li}_2 \cdot \text{SiO}_2$) またはリチウムジシリケート ($\text{Li}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$) に置換され，アルカリシリカゲルが非膨張化されるのです．これらを反応式で表すと図 3-8 のようになります．アルカリシリカゲルがリチウムイオンによって非膨張化されると，吸水膨張反応が収束するため，以後，コンクリートのひび割れは進行しなくなります．これがリチウムイオンによる ASR 抑制のメカニズムです．

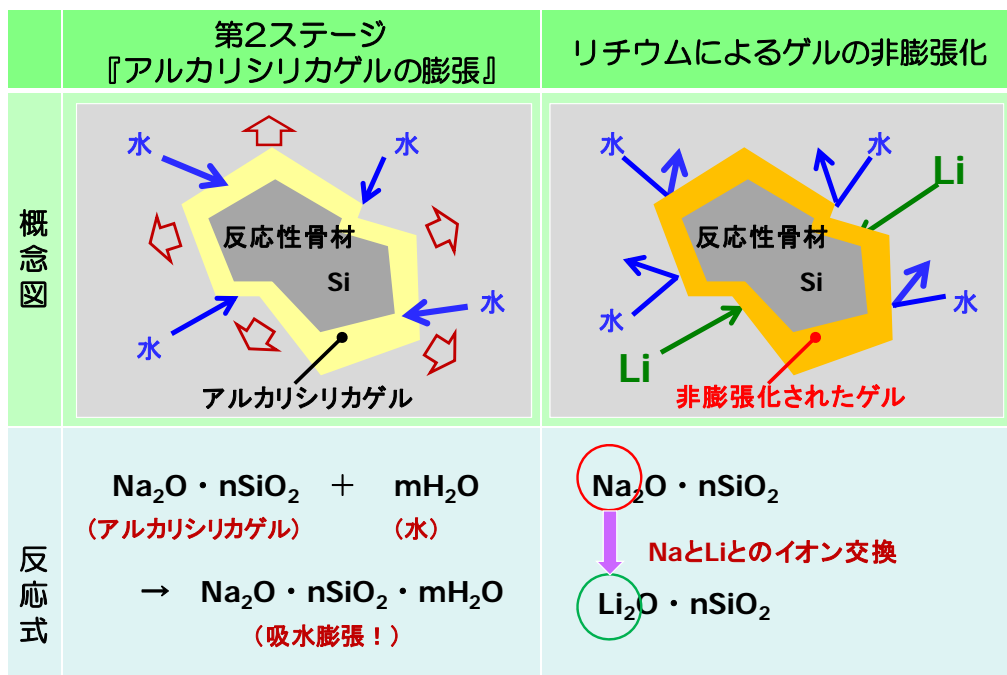


図 3-8 リチウムイオンによるゲルの非膨張化

3.2 亜硝酸リチウムを用いた塩害・中性化の補修工法

(1) 亜硝酸リチウムを用いた塩害・中性化対策の基本的な考え方

構造物の外観変状調査の結果、鉄筋に沿ったひび割れや錆汁の析出など塩害や中性化などの鉄筋腐食に起因する劣化が疑われた場合、詳細調査を実施して劣化要因の特定を行います。塩害に関する試験方法としては塩化物イオン含有量試験、中性化に関する試験方法としてはフェノールフタレイン法による中性化深さ試験などが挙げられます。また、塩害、中性化とも、鉄筋の腐食度を評価することが重要となりますので、はつり調査による鉄筋腐食度目視確認に加え、自然電位法や分極抵抗法などの非破壊検査手法を併用することも効果的です。

劣化要因が塩害または中性化であると判定されると、次に対策工法の選定を行います。塩害や中性化の対策工法を適切に選定するためには、以下のような着目点について考慮しておくことが重要です。

- ・鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度を超過しているか？(塩害の場合)
- ・鉄筋位置まで中性化領域が進行しているか？(中性化の場合)
- ・鉄筋腐食はどの程度進行しているか？(塩害・中性化共通)
- ・今後も著しい劣化因子の浸入が想定される環境か？(塩害・中性化共通)

塩害の劣化因子として塩化物イオンを重視するのは、主にコンクリート中の鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界を超えるまでの期間です。鉄筋位置に腐食発生限界濃度（例えば 1.2kg/m^3 や 2.5kg/m^3 など）以上の塩化物イオンが侵入し、鉄筋腐食環境が形成（不動態被膜が破壊）されてしまった後は、実際に鉄筋を腐食させる水分と酸素が主たる劣化因子となります。すなわち、まだ鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達する前の段階であれば、対策工に要求される性能は「劣化因子（塩化物イオン）の遮断」となります。また、既に鉄筋位置の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達した後も鉄筋腐食がまだ進行していない段階であれば、対策工に要求される性能は「劣化因子（水分、酸素）の遮断」とすることができます。しかし、コンクリートにひび割れや錆汁の析出、はく離・はく落などが生じている場合には、既に鉄筋腐食が進行していることを示していますので、この段階で選定すべき対策工は「鉄筋腐食の抑制」を主たる要求性能とすべきです。また、劣化の程度や環境条件に応じて「劣化因子（水分、酸素、塩化物イオン）の遮断」や「劣化因子（塩化物イオン）の除去」などの要求性能を組み合わせることが重要です。

中性化に関しても同様の考え方ができます。中性化の劣化因子として二酸化炭素を重視するのは、主にコンクリート中の鉄筋位置まで中性化領域が進行するまでの期間です。中性化領域が鉄筋位置（例えば中性化残り 10mm ）まで進行し、鉄筋腐食環境が形成（不動態被膜が破壊）されてしまった後は、実際に鉄筋を腐食させる水分と酸素が主たる劣化因子となります。すなわち、まだ鉄筋位置まで中性化が進行する前の段階であれば、対策工に要求される性能は「劣化因子（二酸化炭素）の遮断」となります。また、既に鉄筋位置まで中性化した後も鉄筋腐食がまだ進行していない段階であれば、対策工に要求される性能は「劣化因子（水分、酸素）

の遮断」とすることができます。しかし、コンクリートにひび割れや錆汁の析出、はく離・はく落などが生じている場合には、既に鉄筋腐食が進行していることを示していますので、この段階で選定すべき対策工は「鉄筋腐食の抑制」を主たる要求性能とすべきです。また、劣化の程度や環境条件に応じて「劣化因子（水分、酸素、二酸化炭素）の遮断」や「劣化因子（二酸化炭素）の除去」などの要求性能を組み合わせることが重要です。

これらを考慮して、要求性能に応じた塩害・中性化の対策工法選定の考え方について以下に示します。

主たる要求性能が「劣化因子の遮断」の場合

対策工の主たる要求性能を「劣化因子の遮断」と設定できるのは、まだコンクリート内部の鉄筋腐食がそれほど進行していない段階です。劣化グレードでは潜伏期～進展期に相当します。この段階はまだコンクリート表面に目立った変状が発生していませんので、主に予防保全的な対策工の選定となります。ここでの亜硝酸リチウムの役割は、将来的に生じうる鉄筋腐食に対して、あらかじめ亜硝酸イオンを供給しておくこととなります。これらを踏まえて、塩害または中性化において、まだ鉄筋腐食が進行しておらず、主たる要求性能が「劣化因子の遮断」となる場合に適用可能な対策工法を表 3-1 に示します。

表 3-1 まだ鉄筋腐食が進行していない場合の塩害・中性化対策工法

適用できる対策工	概要
表面含浸工法	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面に亜硝酸リチウムを塗布した後、表面含浸材を塗布・含浸させる。 ・塗布した亜硝酸リチウムがコンクリート内部へ浸透し、将来的な鉄筋腐食を抑制する。また、表面含浸材が外部からの劣化因子の侵入を遮断し、腐食環境の悪化を抑制するとともに、亜硝酸リチウムの溶出を防ぐ。
表面被覆工法	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート表面に亜硝酸リチウムを塗布した後、亜硝酸リチウムを含有した表面被覆材にてコーティングする。 ・塗布した亜硝酸リチウムおよび被覆材に含まれる亜硝酸イオンがコンクリート内部へ浸透し、将来的な鉄筋腐食を抑制する。また、表面被覆材が外部からの劣化因子の侵入を遮断し、腐食環境の悪化を抑制する。

主たる要求性能が「鉄筋腐食の抑制」の場合

塩害や中性化により鉄筋が既に腐食すると、その腐食生成物（錆）の膨張圧によりコンクリートにひび割れが生じます。そのひび割れからは錆汁の滲出が見られることが多く、さらに腐食が進行するとコンクリートのはく離・はく落が生じます。そして最終的には腐食によって鉄筋断面が著しく減少し、耐久性能のみならず耐荷性能までも損なうこととなります。一般的に、点検業務や調査業務の段階で塩害や中性化による劣化が発見される場合、すでに上記のようなコンクリートの変状が顕在化している状態であることがほとんどです。このような場合には、

対策工の主たる要求性能を「鉄筋腐食の抑制」と設定すべきです。なぜなら、塩害にて鉄筋腐食が発生しているということは、既に鉄筋位置での塩化物イオン濃度が十分に高いことを示しており、その段階でいくら外部からの塩化物イオンの侵入を阻止しても鉄筋腐食環境は改善されないからです。同様に、中性化にて鉄筋腐食が生じているということは、既に鉄筋位置まで中性化が進行していることを示しており、その段階でいくら外部からの二酸化炭素の侵入を阻止しても鉄筋腐食環境は改善されません。この段階では、既に腐食を開始した鉄筋に対し、以後の腐食反応をいかに抑制するかを考えることが重要です。

鉄筋が腐食を開始しているということは、換言すれば鉄筋周囲の不動態被膜が破壊されているということです。一度破壊された不動態被膜は、自然に回復することはありません。しかし、そこに亜硝酸リチウム（の亜硝酸イオン）を供給すると、不動態被膜が再生され、以後の鉄筋腐食反応を抑制する効果が期待できます。亜硝酸リチウムを用いた塩害・中性化対策工法としてよく適用されている「断面修復工法」に加えて、近年では「内部圧入工法」も実用化され、実績が増えています。また、塩害や中性化で発生しているひび割れの奥には腐食した鉄筋が存在するはずですので、「ひび割れ注入工法」によって亜硝酸リチウムを直接供給することもできます。ここでの亜硝酸リチウムの役割は、既に腐食が進行している状態の鉄筋に対して直ちに亜硝酸イオンを供給し、以後の鉄筋腐食反応を抑制することとなります。

これらを踏まえて、塩害や中性化により鉄筋が腐食し、コンクリートにひび割れやはく離などの変状が生じている場合の、「鉄筋腐食の抑制」を主たる要求性能とした対策工法を表 3-2 に示します。

なお、この劣化段階で表面被覆工法や表面含浸工法を適用することもあります。その場合は亜硝酸イオンが鉄筋位置まで浸透するまでに長時間かかることと、供給可能な亜硝酸イオン量に制限があることなどから、再劣化を想定した維持管理シナリオをあらかじめ想定しておく必要があります。

表 3-2 既に鉄筋が腐食し、コンクリートに変状が生じている場合の塩害・中性化対策工法

適用できる対策工	概要
内部圧入工法	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートに削孔し、鉄筋周囲のコンクリートに亜硝酸リチウムを内部圧入する。 ・内部圧入によって十分な量の亜硝酸イオンが鉄筋周囲へと供給されるため、直ちに鉄筋腐食抑制効果が発揮される。
断面修復工法	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化しているコンクリート表面をはつりとり、鉄筋表面に亜硝酸リチウムを塗布した後、ポリマーセメントモルタルにて断面を修復する。 ・鉄筋表面に亜硝酸イオンを直接供給できる。また、断面修復材のポリマーセメントモルタルに亜硝酸リチウムを混入することもできる。
ひび割れ注入工法	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れに亜硝酸リチウムを先行注入した後、無機系注入材を本注入してひび割れを閉塞する。 ・先行注入した亜硝酸リチウムが腐食した鉄筋に到達し、以後の腐食を抑制する。本注入した無機系ひび割れ注入材がひび割れを閉塞し、ひび割れを通じた劣化因子の侵入を遮断する。

(2) 亜硝酸リチウムを用いた具体的な塩害・中性化補修工法

1. 表面含浸工法

目的：『劣化因子の遮断』 + 『鉄筋腐食の抑制』

塩害や中性化における劣化因子（塩化物イオン、二酸化炭素、水分、酸素）がコンクリート内部に侵入することを表面含浸材により遮断します。表面含浸工法の主たる目的は「外部からの劣化因子の遮断」ですが、補修材料に亜硝酸リチウムを併用することにより将来的な「鉄筋腐食の抑制」効果をプラスアルファとして付与することができます。主としてコンクリート表面にひび割れ等の変状が現れる前段階に予防保全的に適用するのが効果的ですが、変状が表面化しはじめた軽微な劣化程度の段階に適用されることもあります。

表面含浸工法では、まずコンクリート表面をサンダーケレンまたは高圧洗浄にて下地処理します。施工面全体に亜硝酸リチウムをハケ、ローラーで入念に塗布した後、けい酸リチウム系表面含浸材を噴霧またはハケ、ローラーで塗布し、散水養生を行います。コンクリート表面に塗布された亜硝酸リチウムは将来的にはかぶり範囲にイオン浸透し、鉄筋の腐食を抑制する効果が期待できます。表面含浸材は亜硝酸リチウムとの相性のよい材料を選定する必要があり、けい酸リチウム系含浸材が推奨されます。図 3-9 に亜硝酸リチウムを用いた表面含浸工法の概念図を、図 3-10 に施工状況を示します。

表面含浸工法では亜硝酸リチウムの標準塗布量が 0.3kg/m^2 とされています。これは物理的に塗布可能な量から決まる塗布量であり、塩化物イオン濃度等に応じて定量的に塗布量を設定することはできません。亜硝酸リチウムの浸透の目安は 5 ヶ月間で 30mm という実験結果が得られていますが、コンクリートの強度や状態によって変わってくると考えられます。

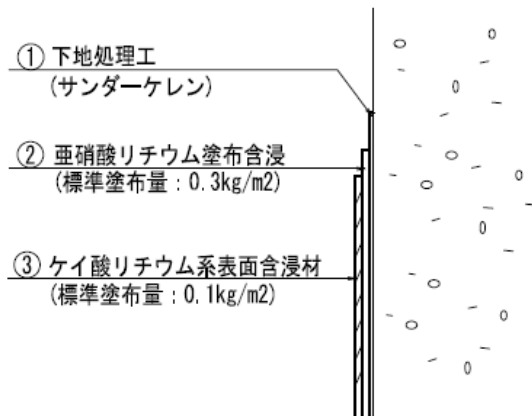


図 3-9 表面含浸工法の概念図



図 3-10 表面含浸工法の施工状況

参考工法 『プロコンガードシステム』 NETIS 登録申請中(平成 26 年 4 月現在)

使用材料：プロコンガードプライマー（塗布用亜硝酸リチウム）

プロコンガード（けい酸リチウム系表面含浸材）

2. 表面被覆工法

目的：『劣化因子の遮断』 + 『鉄筋腐食の抑制』

塩害や中性化における劣化因子（塩化物イオン，二酸化炭素，水分，酸素）がコンクリート内部に侵入することを表面被覆材により遮断します。表面被覆工法の主たる目的は「外部からの劣化因子の遮断」ですが，補修材料に亜硝酸リチウムを併用することにより，将来的な「鉄筋腐食の抑制」効果をプラスアルファとして付与することができます。一般的にはまだ鉄筋腐食が顕在化してない段階で適用するのが効果的なのですが，鉄筋腐食が進行した段階でひび割れ注入工法や断面修復工法と組み合わせて適用されることもあります。

表面被覆工法では，まずコンクリート表面をサンダーケレンまたは高圧洗浄にて下地処理します。施工面全体に亜硝酸リチウムをハケまたはローラーで入念に塗布した後，亜硝酸リチウムを含有するポリマーセメントモルタル系表面被覆材でコンクリート表面をコーティングします。被覆工はコテ，ハケ，ローラーなどで行います。コンクリート表面に塗布された亜硝酸リチウムは将来的にはかぶり範囲にイオン浸透し，鉄筋の腐食を抑制する効果が期待できます。ポリマーセメントモルタル系表面被覆材の上には，被覆層を保護するための上塗りを行う必要があります。上塗り材は亜硝酸リチウムを含有したポリマーセメントモルタルとの相性のよい材料を選定することが重要となります。図 3-11 に亜硝酸リチウムを用いた表面被覆工法の概念図を，図 3-12 に施工状況を示します。

表面被覆工法では亜硝酸リチウムの標準塗布量が $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ ，亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの標準厚さが 2mm とされていますが，必要に応じてペーストの塗布厚さを変えて亜硝酸リチウム供給量を多少調整することもできます。亜硝酸リチウムの浸透の目安は 5 ヶ月間で 30mm という実験結果が得られていますが，コンクリートの強度や状態によって変わってくると考えられます。

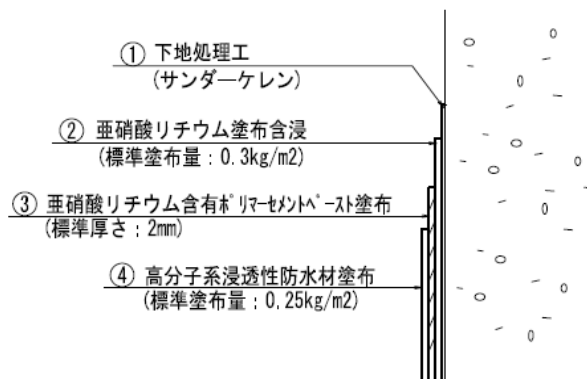


図 3-11 表面被覆工法の概念図



図 3-12 表面被覆工法の施工状況

参考工法 『亜硝酸リチウム表面被覆工法』

使用材料：プロコンガードプライマー（塗布用亜硝酸リチウム）

リハビリペースト（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト）

アイゾール EX（高分子系浸透性防水材）

3. ひび割れ注入工法

目的：『劣化因子の遮断』 + 『鉄筋腐食の抑制』

塩害や中性化の劣化により鉄筋腐食が進行したコンクリートの表面には、鉄筋に沿ったひび割れが発生してきますので、ひび割れ注入工法によってひび割れを通じた劣化因子の侵入を遮断することが必要となります。ひび割れ注入工法の主たる目的は「外部からの劣化因子の遮断」ですが、補修材料に亜硝酸リチウムを併用することにより、「鉄筋腐食の抑制」効果をプラスアルファとして付与することができます。

ひび割れ注入工法では、まずコンクリート表面のひび割れ内部に亜硝酸リチウムを先行注入します。これによりひび割れ内部をプレウェッティングすると同時に、ひび割れ深部の腐食した鉄筋に亜硝酸イオンを供給して鉄筋腐食抑制効果を付与します。亜硝酸リチウムを先行注入した後、ひび割れ内部が乾燥しないうちに超微粒子セメント系注入材を本注入します。超微粒子セメント系ひび割れ注入材は流動性に優れるため、ひび割れ先端まで確実に充填することができます。注入作業は先行注入、本注入ともに自動低圧注入器を用います。図 3-13 に亜硝酸リチウムを用いたひび割れ注入工法の概念図を、図 3-14 に施工状況を示します。

ひび割れ注入工法には、注入・圧入専用の浸透拡散型亜硝酸リチウムを使用することができます。ただし、亜硝酸リチウムの注入可能量はひび割れ幅と深さによって決まるため、塩化物イオン濃度等に応じて定量的に注入量を設定するわけではありません。

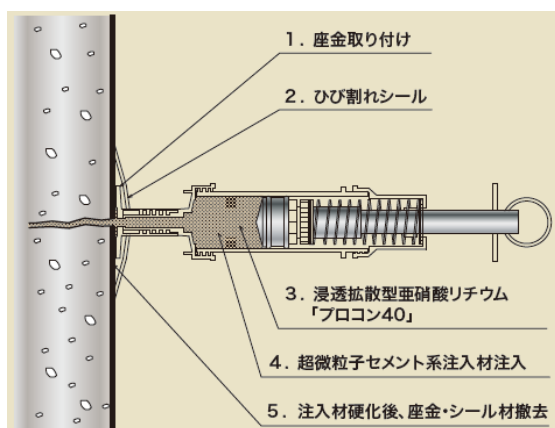


図 3-13 ひび割れ注入工法の概念図



図 3-14 ひび割れ注入工法の施工状況

参考工法 『リハビリシリンダー工法』 NETIS 登録番号;CG-110017-A

使用材料：プロコン 40（浸透拡散型亜硝酸リチウム）

アーマ #600（超微粒子セメント系注入材）

4. 内部圧入工法

目的：『鉄筋腐食の抑制』

塩害または中性化による劣化は鉄筋腐食に起因しています。すなわち、塩害、中性化により劣化したコンクリート構造物の補修対策とは、最終的に鉄筋腐食をいかに抑制するかに着目します。亜硝酸リチウムは鉄筋腐食を化学的に抑制することができる補修材料であり、それを防錆対象としたい全ての鉄筋周囲に満遍なく供給することができれば、以後の鉄筋腐食反応を抑制することができると考えられます。そこで近年実用化されたのが亜硝酸リチウム内部圧入工法です。

塩害、中性化対策としての亜硝酸リチウム内部圧入工法は、劣化したコンクリート躯体に小径の削孔（ $\phi 10\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ 程度）を行い、そこから亜硝酸リチウムを加圧注入してコンクリート内の鉄筋周辺部に浸透させる工法です。加圧注入に先立ち、コンクリート表面に生じているひび割れをひび割れ注入工法および表面被覆工法により閉塞します。これは亜硝酸リチウム水溶液を加圧注入する際に表面への漏出を防止するための処置です。コンクリート表面の漏出防止工が完了した後、圧入孔を削孔します。削孔間隔は300～500mm程度とします。全ての圧入孔にカプセル式圧入装置を設置し、設計で求めた亜硝酸リチウム設計注入量を加圧注入圧入します。注入圧力は対象構造物の劣化程度に応じて設定され、一般的に0.5～1.0MPaの範囲とされます。圧入期間は注入量やコンクリートの状態によって異なりますが、一般的には7日～10日程度となります。内部圧入工が完了したら、圧入孔を充填して施工完了となります。亜硝酸リチウム内部圧入工法の概念図を図3-15に、施工状況を図3-16に示します。

内部圧入工法には、注入・圧入専用の浸透拡散型亜硝酸リチウムを使用することができます。内部圧入する亜硝酸リチウムの設計注入量は、塩害対策の場合、対象構造物の塩化物イオン含有量に応じて構造物毎に設定され、その量は NO_2/Cl モル比1.0となる量とされます。

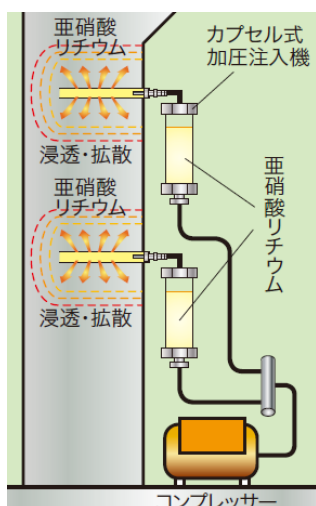


図 3-15 内部圧入工法の概念図



図 3-16 内部圧入工法の施工状況

参考工法 『リハビリカプセル工法』 NETIS 登録番号;CG-120005-A

使用材料：プロコン 40（浸透拡散型亜硝酸リチウム）

【亜硝酸リチウム設計注入量の算定方法】

内部圧入工法における亜硝酸リチウムの設計注入量は下記の要領で算定します。

①塩害の場合

コンクリート表面から鉄筋位置までの塩化物イオン濃度分布を測定し、それら測定値の最大の値に対して亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比 ($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比) が 1.0 となる量の亜硝酸リチウムを設計注入量とします。すなわち、コンクリート中の塩化物イオン濃度が高いほど、鉄筋防錆のために必要となる亜硝酸リチウムの量が多くなります。

塩化物イオン濃度と亜硝酸リチウム設計注入量との関係を図 3-17 に示します。ここで、図中の亜硝酸リチウム設計注入量とは亜硝酸リチウム 40%水溶液としての量を示しています。

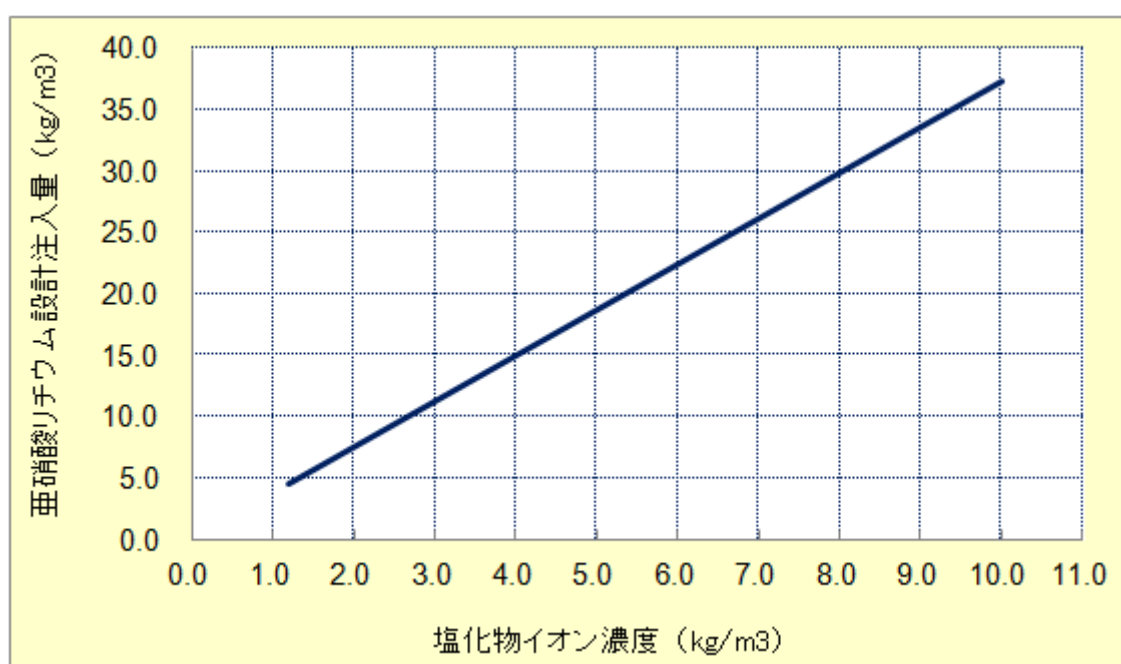


図 3-17 亜硝酸リチウム設計注入量(塩害の場合)

②中性化の場合

中性化対策として亜硝酸リチウム内部圧入工法を適用する場合は、過去の実績より塩害対策における塩化物イオン濃度 1.2kg/m^3 に対する亜硝酸リチウム設計注入量を用いています。すなわち、中性化対策の場合、 4.48kg/m^3 の亜硝酸リチウムを設計注入量とします。現時点では中性化深さや pH のように中性化特有の試験値と亜硝酸リチウム設計注入量とが関連付けられていないため、塩害によって破壊された不動態被膜を修復しうる最小の亜硝酸リチウム量を適用しているということです。

5. 断面修復工法

目的：『劣化部の除去』＋『鉄筋腐食の抑制』

塩害や中性化によって鉄筋が腐食している場合、かぶりコンクリートを除去して鉄筋を露出させ、防錆材として亜硝酸リチウムを塗布した後に断面を修復することで以後の鉄筋腐食を抑制できます。亜硝酸リチウムを用いた断面修復工法では、「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「コンクリート内部の塩化物イオンの除去」を行うこととなります。

断面修復工法には、コンクリート浮き・はく離箇所のみをはつり取って修復する一般的な「部分断面修復」と、かぶりコンクリートを全てはつり取って劣化因子を除去する「全断面修復」とがあり、要求される性能に応じて選定する必要があります。

断面修復工法では、まずはつり範囲にカッターによる縁切りを行い、コンクリート不良部をはつり落とし、腐食した鉄筋を完全に露出させます。次に鉄筋周囲をワイヤーブラシやディスクサンダーにて鉄筋をケレンし、錆を入念に除去します。その後、防錆材として亜硝酸リチウム水溶液および亜硝酸リチウム含有ペーストを鉄筋周囲およびはつり面全体に塗布します。ペーストが完全に硬化しないうちに、ポリマーセメントモルタルまたは亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの左官工法にて断面を修復します。このとき、1層の埋め戻し厚さは20～30mmを目安とし、下地のモルタルが十分硬化したのを確認して次のモルタルを塗り重ねます。断面修復工法概念図を図3-17に、施工状況を図3-18に示します。

断面修復材はポリマーセメントモルタルを単体で使用することもあります。亜硝酸リチウムを混入することでより防錆効果が高まり、マクロセル腐食を抑制する効果も期待できます。このとき、亜硝酸リチウムの混入量の例として 55kg/m^3 という数値が提案されています。

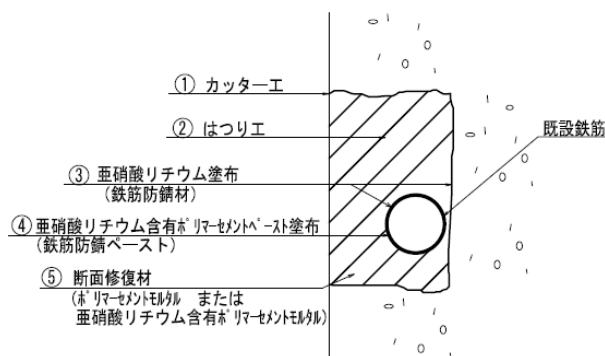


図3-17 断面修復工法概念図



図3-18 断面修復工法施工状況

参考工法 『亜硝酸リチウム断面修復工法』

使用材料：プロコンガードプライマー（塗布用亜硝酸リチウム）

リハビリペースト（亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト）

リハビリモルタル（ポリマーセメントモルタル）

プロコン混和材（断面修復材混入用亜硝酸リチウム）