

コンクリートメンテナンス協会 「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）」の概要

十河 茂幸*1・江良 和徳*2

概要 2020年4月にコンクリートメンテナンス協会「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）」（以下、本指針（案）と称す）が発刊された。本指針の構成は共通編と工法別マニュアル編に大別される。共通編では主として亜硝酸リチウムの材料特性と亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方について記述しており、工法別マニュアル編では表面含浸工法、断面修復工法、ひび割れ注入工法および内部圧入工法などの各工法における設計、施工、施工管理基準について記述している。本稿は、今回発刊された本指針（案）の主要部分の概要を紹介するものである。

キーワード：補修、塩害、中性化、ASR、亜硝酸リチウム、表面含浸工法、内部圧入工法

1. はじめに

近年、コンクリート内部の鋼材腐食に起因する塩害や中性化、また反応性骨材の吸水膨張反応に起因するアルカリシリカ反応（以下、ASRと称す）などに代表されるコンクリートの劣化が深刻さを増している。これら劣化したコンクリート構造物に対し、従来は一般的なひび割れ注入工法や表面保護工法、断面修復工法などによる対策がなされることが多かった。しかし、塩害や中性化、ASRにより劣化した構造物は、補修後に再劣化する事例が後を絶たないのが現状である。

そのような状況の中、近年では鋼材腐食抑制剤として亜硝酸イオンを用いた研究¹⁾、ASR膨張抑制剤としてリチウムイオンを用いた研究²⁾が数多くなされており、その両イオンを含有する亜硝酸リチウムを用いた補修工法の開発、実用化が進んでいる。これまで、亜硝酸リチウムを用いた補修技術に関する研究は国内の多くの大学や研究機関にて実施されてきた³⁾。また、亜硝酸リチウムを用いた補修設計および施工に関する情報や経験は、主として（一社）コンクリートメンテナンス協会にて蓄積されてきた⁴⁾。それらを詳細かつ普遍的な指針として集約するため、産学の幅広いメンバーによる編集委員会を構成し（図-1）、「コンクリート構造物を対象とした亜硝酸リチウムを用いた補修の設計・施工指針（案）」としてとりまとめた。

本稿は、2020年4月に（一社）コンクリートメンテナンス協会より発刊された本指針（案）の概要について紹介するものである。

委員長：十河茂幸
幹事長：江良和徳
幹事：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、勘田泰邦
アドバイザー：宮川豊章、榊田佳寛、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、檀原弘貴、高谷哲、平田隆祥、谷口秀明、野村昌弘、内田博之、堀孝廣

図-1 本指針（案）の編集委員会の構成

【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. 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

図-2 本指針（案）の目次構成

2. 本指針（案）の構成

本指針は、亜硝酸リチウムに関する基本情報および亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方を示した共通編と、亜硝酸リチウムを用いた各補修工法の詳細を示した工法別マニュアル編から構成される。本指針の目次構成を図-2に示す。

共通編では、まず「1章 総則」として全体構成、全

*1 そごう・しげゆき／近未来コンクリート研究会 代表（名誉会員）

*2 えら・かずのり／樫東興和(株)営業本部 補修部補修課長（正会員）

章を通じた用語の定義などを示している。次に「2章 亜硝酸リチウムの特性」として亜硝酸リチウムの基本性能、劣化抑制メカニズムおよび品質規格などを示している。さらに「3章 亜硝酸リチウムを用いた補修工法選定の考え方」として塩害および中性化の補修工法選定、ASR補修工法選定、各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などについて詳述している。

工法別マニュアル編では、亜硝酸リチウムを併用または活用する表面含浸工法、表面被覆工法、断面修復工法、ひび割れ注入工法、内部圧入工法および簡易型内部圧入工法について、それぞれ総則、使用材料、設計、施工、施工管理基準について詳述している。

3. 共通編の概要

3.1 亜硝酸リチウムの特性

亜硝酸リチウム (Lithium Nitrite : LiNO_2) は、リチウムイオン $[\text{Li}^+]$ と亜硝酸イオン $[\text{NO}_2^-]$ とがイオン結合した化合物であり、主に濃度 40% (wt%) の亜硝酸リチウム水溶液として製品化されている。亜硝酸リチウムの成分のうち、亜硝酸イオン $[\text{NO}_2^-]$ は鋼材表面の不動態皮膜を再生する効果があり、塩害や中性化などの鋼材腐食に起因する劣化の補修材料として適用される。一方、リチウムイオン $[\text{Li}^+]$ はアルカリシリカゲルを非膨張化する効果があるため、ASR 劣化の補修材料として適用される。

塩害補修における亜硝酸イオンの鋼材腐食抑制メカニズムとしては、亜硝酸イオンがアノード型抑制剤として働く酸化剤としての効果 (不動態皮膜再生効果)^{5), 6)}、亜硝酸イオンが鋼材表面に吸着することにより鉄の溶解を抑制する効果^{7), 8)}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る。ここで、不動態皮膜再生に着目すると、亜硝酸イオンは2価の鉄イオンと反応してアノード部からの鉄イオンの溶出を防止し、不動態皮膜として鋼材表面に着床することによって鋼材腐食反応

を抑制する。不動態皮膜が再生されると以後の鋼材の腐食反応は不活性な状態となり (不動態化し)、進行が抑制される。劣化機構が塩害の場合、鋼材腐食を抑制するために必要な亜硝酸リチウム量は対象コンクリート中の塩化物イオン含有量に応じて算定される。本指針では亜硝酸イオンとコンクリート中の塩化物イオンとのモル比が1.0 ($[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]=1.0$) となるよう亜硝酸リチウムの必要量を定めることとしている。塩化物イオン含有量と亜硝酸リチウム必要量の関係を図-3に示す。

一方、ASR 補修におけるリチウムイオンの ASR 膨張抑制メカニズムは、コンクリート中の反応性骨材周囲に生成したゲル状生成物 (アルカリシリカゲル) の吸水膨張反応抑制とされることが多い。すなわち、アルカリシリカゲルにリチウムイオンが供給されることによって、その一部が水に対する溶解性や吸湿性を持たないリチウムシリケートに置換され、アルカリシリカゲルが非膨張化される⁹⁾。この反応によりアルカリシリカゲルの吸水膨張反応は収束し、以後のコンクリートの膨張は進行しない。劣化機構が ASR の場合、アルカリシリカ反応を抑制するために必要な亜硝酸リチウム量は対象コンクリート中のアルカリ含有量に応じて算定される¹⁰⁾。本指針ではリチウムイオンとコンクリート中のアルカリ含有量とのモル比が 0.8 ($[\text{Li}^+]/[\text{Na}^+]=0.8$) となるよう亜硝酸

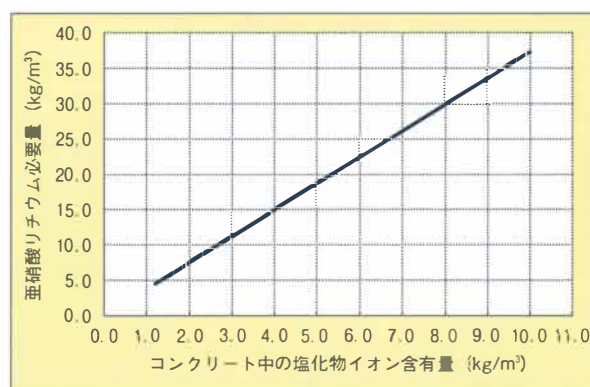


図-3 塩化物イオン含有量と亜硝酸リチウム必要量との関係
(必要量 = 3.7 ~ 3.8 × 塩化物イオン - kg/m³)

Overview of "Design and Construction Guidelines for Repairing Concrete Structures Using Lithium Nitrite" published by Japan Concrete Maintenance Association (JCMA)

By S. Sogo and K. Era

Concrete Journal, Vol.59, No.4, pp.301~306, Apr. 2021

Synopsis The "Design and Construction Guidelines for Repairing Concrete Structures Using Lithium Nitrite" were published by the Japan Concrete Maintenance Association (JCMA) in April 2020. These Guidelines are basically comprised of two parts: A general section and a construction method-specific manuals section. The general section describes the material properties of lithium nitrite and the concept behind the selection of a repair method using lithium nitrite. The construction method-specific manuals section describes the design, construction, and construction management standard for each of various methods including the surface impregnation method, the cross-section repair method, the crack injection repair method, and the pressurized injection method. This paper gives an overview of the main parts of these latest Guidelines.

Keywords : Repair, Chloride attack, Carbonation, ASR, Lithium nitrite, Surface impregnation method, Pressurized injection method

亜硝酸リチウムは塩害の潜伏期から劣化期までの各劣化過程の補修に対して使用可能であるが、特に進展期、加速期前期および加速期後期における補修対策への適用性が高い。塩害の劣化過程が進展期と判定されるコンクリート構造物の予防保全においては、鋼材位置の塩化物



面含浸材であり、そのメカニズムは本指針（案）の共通編2章で示した通りである。ここで、鋼材腐食抑制効果は亜硝酸イオンがコンクリート表面から鋼材位置まで到達して初めて発揮される状態となるため、亜硝酸リチウムに期待する効果は亜硝酸イオンの浸透深さおよび浸透速度に影響を受ける。そのため、対象構造物の劣化機構や劣化過程、コンクリート物性（強度、密実度、含水状態）などを十分考慮して適用するのがよい。亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法の工法概念図を図-7に、施工状況を写真-1に示す。

本工法における亜硝酸リチウム系表面含浸材の標準塗布量は、過去の施工実績を考慮して 0.3 kg/m^2 とした。ただし、塩害補修として本工法を適用する場合、塩化物イオン量に応じて亜硝酸リチウム必要量を算出することで、標準塗布量を超える設計塗布量を設定することができる。塩害補修における亜硝酸リチウム系含浸材の設計塗布量の目安は本指針（案）中に記載している。本工法におけるシラン・シロキサン系表面含浸材の塗布量は、劣化機構に関わらず 0.18 kg/m^2 とする。

亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法を適切に施工するための施工フローを本指針（案）に記載した。特に、1層目の亜硝酸リチウム系含浸材を塗布した後は必ず12時間以上の養生期間を設け、コンクリート表面の表面水分率が6%以下であることを確認したうえで2層目のシラ

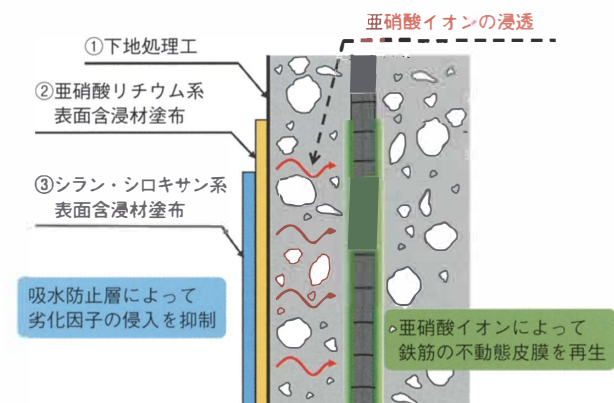


図-7 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法の概念図



写真-1 亜硝酸リチウム併用型表面含浸工法の施工状況

ン・シロキサン系含浸材の塗布を行うことが重要となる。

本工法の施工管理は、要求性能を満足する品質および出来形を確保するよう、各施工工程の特性を踏まえ、適切に行わなければならない。また、施工後の維持管理および将来の保安全管理のために、施工管理の記録を保管しなければならない。本工法の性能は、これを適用するコンクリート構造物に含浸させた状態で確認することが望ましいが、実際にはこれを実施することが困難である場合が多いため、第三者機関による表面含浸材の評定結果によって品質を確認することで代用することとした。表面含浸材の品質を確認するための評価は、JSCE-K571-2013に準拠して、透水量試験、吸水率試験、透湿度試験、中性化に対する抵抗性試験および塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験の結果にて行うこととした。本工法の出来形を管理するために、使用材料の検収や塗布面積の測定などを施工順序に従い実施し、結果を定められた方法により記録しなければならない。本工法の施工にあたっては、工事に従事する作業者の安全はもとより、第三者災害の防止、公害防止などの社会的影響に十分配慮しなければならない。

4.2 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法

簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法はコンクリート構造物に小径の圧入孔を削孔し、そこから亜硝酸リチウムを内部圧入する工法であり、その主目的はコンクリート内部の鋼材位置に早急かつ確実に亜硝酸イオンを浸透させることで不動態皮膜を再生し、以後の鋼材腐食を抑制することである。本工法における使用材料には、一般の亜硝酸リチウム製品に比べてコンクリート中の浸透性に優れる浸透拡散型亜硝酸リチウムを用いることを原則とする。亜硝酸イオンによる鋼材腐食抑制メカニズムは本指針（案）の共通編2章で示した通りであり、その設計圧入量は対象構造物の塩化物イオン含有量に応じて定量的に算定することとした。圧入孔の削孔は内径 $\phi 10 \text{ mm}$ とし、削孔深さは防錆対象とする鋼材のかぶりに応じて適切に定める。また削孔間隔は500 mmを標準とし、隣り合う孔の間隔が等しくなるよう千鳥配置とすることが望ましい。設計注入圧力は 0.5 MPa を標準とする。設計圧入日数（圧入に要する日数）は設計圧入量、圧入孔数、圧力、コンクリート強度および劣化程度などをパラメータとして構造物毎に算出する。簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の工法概念図を図-8に、施工状況を写真-2に示す。

本工法の適用にあたっては、対象構造物の劣化機構推定、劣化過程の判定などの調査、診断を行ったうえで適切な施工計画を立案することが重要である。また、劣化原因や劣化メカニズム等に対して十分な知識を有し、かつ亜硝酸リチウムの特性に対する深い理解を有する熟練の技術者が適切な施工管理を行い、定められた施工仕様および施工方法を遵守する必要がある。本工法を適切に

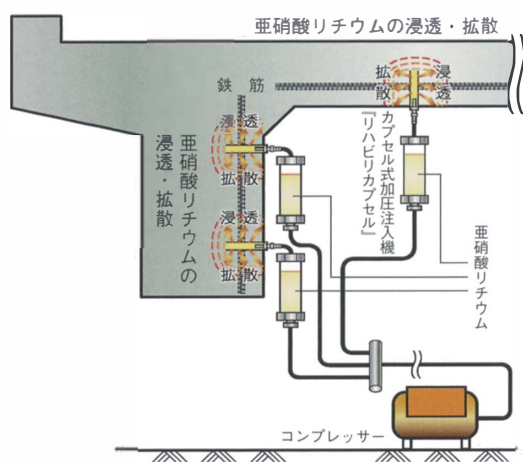


図-8 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の概念図



写真-2 簡易型亜硝酸リチウム内部圧入工法の施工状況

施工するための施工フローを本指針（案）に記載した。主な手順としては、まずコンクリート表面の下地処理を行い、圧入する全範囲に対して鉄筋探査を行ったうえで圧入孔を削孔する。カプセル式圧入器、注入ホース、分配器、加圧パッカーからなる圧入装置を全ての圧入孔に設置し、コンプレッサーにて加圧することにより設計で定められた亜硝酸リチウムを確実にコンクリート内部へ圧入する。全ての圧入作業が完了したら圧入装置を撤去し、孔内を充填して完了となる。

本工法の施工管理は、要求性能を満足する品質および出来形を確保するよう、各施工工程の特性を踏まえ、適切に行わなければならない。また、施工後の維持管理および将来の保全管理のために、施工管理の記録を保管しなければならない。本工法を適切に施工するための施工管理項目を本指針（案）に記載した。使用材料の品質は材料検収時に品質審査証明書により確認し、その使用数量は空缶、空袋を検収することにより行う。圧入孔の削孔長は設計値 ± 20 mm の範囲となるよう管理し、全圧入

孔においてスケールにて測定する。内部圧入工においては、圧力、圧入量、圧入時間および躯体からの漏出の有無を常時監視し、記録しなければならない。本工法の施工にあたっては、工事に従事する作業者の安全はもとより、第三者災害の防止、公害防止などの社会的影響に十分配慮しなければならない。

5. おわりに

本稿では、2020年4月に（一社）コンクサトメンテナンス協会より発行された「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工法の設計・施工指針（案）」の概要について紹介した。本指針の編集にあたっては、学識経験者および設計者、現場経験者など様々な立場から、亜硝酸リチウムに関する補修設計および施工の見聞、研究成果、ノウハウ、経験を出し合い、議論を重ねたところである。最後に、本指針（案）の企画、執筆、査読にご協力いただいた編集委員会およびアドバイザーの皆様、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 例えば、高谷 哲・内藤智大・須藤裕司・山本貴士・宮川豊章：亜硝酸イオン濃度勾配がマクロセル腐食に与える影響に関する基礎的研究、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.12、pp.483～488、2012.10
- 例えば、江良和徳・三原孝文・山本貴士・宮川豊章：リチウムイオンによる ASR 膨張抑制効果に関する一考察、Journal of the Society of Materials Science, Japan、Vol.58、No.8、pp.697～702、2019.8
- 例えば、濱崎 仁・山田義智・福山智子・須藤裕司：亜硝酸リチウム含浸による経年構造物の補修工法に関する屋外暴露試験、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、No.1、pp.1519～1524、2015.7
- コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物の維持管理技術資料 Ver 4.3～塩害・中性化・ASR 補修の考え方へ、2019.4
- Rosenberg, R. A. et al. : American Society for Testing and Materials STP 629, pp.89-99, 1977
- J. T. Lundquist Jr., A. M. Rosenberg and J. M. Gadis : A Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for Chloride-Containing concrete-II Improved Electrochemical Test Procedure, CORROSION/77 San Francisco, The International Corrosion Forum Devoted Exclusively to the Protection and Performance of Materials, pp.14-18, 1997
- 高谷 哲・須藤裕司・山本貴士・宮川豊章：コンクリート中における亜硝酸イオンの鋼材腐食抑制メカニズム、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.1270～1275、2014.7
- 高谷 哲・須藤裕司・内藤智大・江良和徳・山本貴士・宮川豊章：コンクリート中における亜硝酸イオンの腐食抑制メカニズムおよびその効果に関する基礎的研究、Journal of the Society of Materials Science, Japan、Vol.63、No.10、pp.722～728、2014.10
- M. D. A. Thomas, R. Hooper and D. B. Stokes : "Use of Lithium Containing Compounds to Control Expansion in Concrete Due to Alkali-Silica Reaction", Proceedings of 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, pp.783-792, 2000
- 江良和徳・岡田繁之・山本貴士・宮川豊章：内部圧入によりリチウムイオンが供給された ASR ゲルの元素分析について、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.9、pp.151～156、2009.10