

亜硝酸塩系防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋腐食抑制技術の変遷

掛川 勝^{*1}・須藤 裕司^{*2}

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物におけるコンクリートの中性化、コンクリート中への塩化物イオンの混入あるいは浸透に伴う鉄筋の腐食は、コンクリートにひび割れ、剥離、剥落を生じさせることから、様々な対策が行われている。

鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食抑制対策のひとつとして、亜硝酸塩系防錆剤が使用されている。本誌では、過去に、コンクリート混和剤である「防せい剤」として、亜硝酸塩系防錆剤を紹介している^{1),2)}。その後、亜硝酸塩系防錆剤は、コンクリート混和剤以外の手法で使用されることとなり、コンクリート中の鉄筋腐食抑制に関する多くの実験研究が行われている。

本稿では、塩害環境下での亜硝酸塩系防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋腐食抑制に関する既往の研究から鉄筋腐食抑制技術の変遷と現状について述べる。

2. 防 錆 剤²⁾

防錆剤は、陽極型防錆剤、陰極型防錆剤、吸着型防錆剤に分けられる。

陽極型防錆剤は、鉄を酸化することにより、その表面に酸化物の緻密な被膜を形成し、陽極反応を抑制するもので、クロム酸塩、亜硝酸塩などの酸化剤を主成分としている。陰極型防錆剤は、陰極部に水に難溶性の被膜を形成することにより腐食反応を抑制するもので、炭酸塩、りん酸塩、けい酸塩、ポリリン酸塩などが相当する。吸着型防錆剤は、鉄の表面に吸着して腐食性物質が鉄の表面に衝突するのを阻止するもので、主に、N, S, OHなどの極性基をもつ有機高分子化合物である。国内では、コンクリート中の鉄筋腐食抑制のために、陽極型防錆剤である亜硝酸塩系防錆剤が多く使用されている。

亜硝酸塩系防錆剤には、亜硝酸ナトリウム、亜硝酸カルシウム、亜硝酸リチウムがあるが、現在は、亜硝酸カルシウムあるいは亜硝酸リチウムが使用されている。

3. 亜硝酸塩系防錆剤の鉄筋腐食抑制メカニズム

亜硝酸塩系防錆剤の鉄筋腐食抑制メカニズムは、十分に解明されておらず、不明な点も多いが、次のような報告がある。

2011年、大谷ら³⁾は、亜硝酸リチウムを用いた試験により、亜硝酸イオン(NO_2^-)は、2価の鉄が存在する腐食した鋼材に対しては酸化剤として選択的に機能し、カソード復極により鋼材を再不動態化させると報告している。

2014年、高谷ら⁴⁾は、腐食状態を変えた鉄筋を塩化物イオン量 10 kg/m^3 のモルタルに埋設した試験体を用いて、亜硝酸リチウム防錆剤をモルタルに添加あるいは試験体に塗布含浸したものの分極試験を行った。その結果、鉄筋の腐食状態により腐食抑制効果は異なり、亜硝酸イオンは酸化剤として鉄筋を不動態化させるのではなく、鉄筋表面に吸着することにより、鉄の溶解を妨げて腐食抑制効果を発揮する可能性があるとして報告している。

また、亜硝酸イオンの鉄筋腐食抑制効果について、1983年、Y. P. Virmaniら⁵⁾は、モル比 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ （以下、モル比）0.8以上であれば鉄筋腐食抑制効果を示すと報告している。

4. 亜硝酸塩系防錆剤のコンクリートへの添加による鉄筋腐食抑制効果

1965年以降、川砂の枯渇に伴う海砂の活用の増加により、海砂中の塩分による鉄筋腐食が懸念され、鉄筋腐食抑制のためのコンクリート混和剤として、1982年にJIS A 6205（鉄筋コンクリート用防せい剤）が制定された。日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 5鉄筋コンクリート工事⁶⁾では、構造耐力上主要な部分に用いるコンクリート中の塩化物量（塩化物イオン (Cl^-) 換算）は、原則として 0.30 kg/m^3 以下とし、やむを得ず 0.30 kg/m^3 を超え 0.60 kg/m^3 以下のコンクリートを使用する場合の1つに防錆剤を使用することが示されている。

一方、海塩粒子、海水飛沫、凍結防止剤等の外部からの塩化物イオンがコンクリート中に浸透し、高濃度になる場合には、防錆剤の標準使用量では対応できないと考えられ、この対策として、亜硝酸塩系防錆剤のコンクリートへの大量添加による鉄筋腐食抑制効果が検討された。

*1 かけがわ・まさる／太平洋マテリアル(株) 営業本部 機能性材料営業部 副部長（正会員）

*2 すどう・ゆうじ／日産化学(株) 化学品事業部 基礎化学品営業部 部長（正会員）

1987年、友沢ら⁷⁾は、塩分浸透促進下でのコンクリート中の鉄筋腐食抑制効果について、亜硝酸カルシウム防錆剤添加量10、20、30 l/m³とした鉄筋コンクリート試験体で、塩水浸漬、乾燥繰り返し試験を行い、あらかじめ防錆剤を大量添加しておくことは、鉄筋の発錆開始時期を遅らせる上で有効であると報告している。

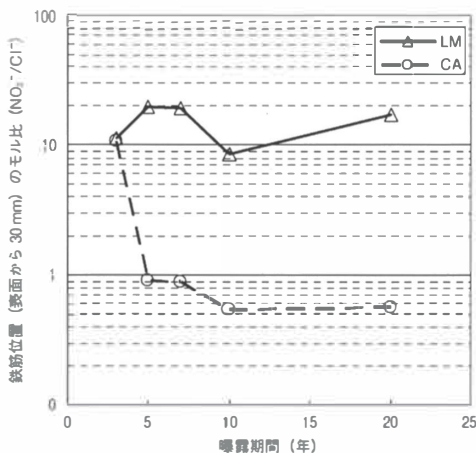
1990年、小林ら⁸⁾は、Cl⁻量と腐食抑制剤の量を表-1に示す組み合わせとした鉄筋コンクリート試験体でオートクレーブによる腐食促進試験を実施した結果、塩化物イオン量3000 g/m³程度混入した場合には、モル比が0.82以上あれば鉄筋腐食抑制効果が認められたと報告している。

1994年、大城ら⁹⁾は、亜硝酸カルシウム防錆剤添加量0、3、20 l/m³としたコンクリートを、沿岸部に建てた鉄筋コンクリート構造物の柱の一部に打設して暴露試験を行い、4年後、防錆剤添加量20 l/m³の柱では、自然電位が全体的に貴な値であり、柱の上下端部を除き、腐食無しと評価されると報告している。

2010年、武内ら¹⁰⁾は、亜硝酸カルシウム防錆剤(CA)添加量33.8 kg/m³とした鉄筋コンクリート試験体を、飛来塩分環境下で20年間暴露試験を行った結果、コンクリート中の亜硝酸イオンの外部溶出による減少と塩化物イオンの浸透による増加に伴い、図-1に示す通り、鉄筋位置のモル比は小さくなる傾向にあり、暴露20年では、鉄筋の腐食減少率が10%程度確認されたことから、表面被覆工法との併用で防錆成分の溶出を防ぐことが必要であると報告している。

表-1 Cl⁻量と腐食抑制剤の量⁸⁾
(表中の数字はモル比 NO₂⁻/Cl⁻を示す)

Cl ⁻ 量 (g/m ³)	腐食抑制剤の量 (kg/m ³)											
	0	1.8	3.7	5.6	7.4	11.2	15.5	16.7	31.0	46.5	62.0	93.0
364	0	0.82	1.64	2.47								
728	0		0.82		1.64	2.47						
1092	0			0.82		1.64	2.47					
3034	0						0.82	1.64	2.47			
6068	0							0.82			1.64	2.47



*LMは同時に実施したモルタル被覆工法であり後述する

図-1 鉄筋位置におけるモル比の経年変化¹⁰⁾

2020年、前山ら¹¹⁾は、塩化物イオン量0、1.75、2.5、3.5、5.0 kg/m³、亜硝酸リチウム防錆剤を亜硝酸イオン量で0、1.5、2.0 kg/m³として組み合わせた鉄筋コンクリート試験体を、乾燥環境および湿潤環境の恒温恒湿槽に静置した結果、分極抵抗は、乾燥の進行に伴い、モル比の大きいものほど大きく増加した。また、モル比が1未満でも、乾燥の進行に伴う腐食抑制効果は表れると報告している。

本誌1986年8月号¹²⁾では、亜硝酸カルシウム防錆剤を20 l/m³添加したコンクリートを用いた試験施工を紹介している。

以上の通り、亜硝酸塩系防錆剤のコンクリートへの大量添加による鉄筋腐食抑制効果の実験研究では、亜硝酸カルシウム防錆剤での検討が多く行われているが、最近では、亜硝酸リチウム防錆剤の添加によるものもある。なお、コンクリート中の亜硝酸イオンの雨水等による溶出、コンクリート中への塩化物イオンの浸透による塩化物イオン量の増加に伴いモル比が変化することが、鉄筋腐食抑制効果に影響を与えたとの見解がある。この点については、鉄筋コンクリート構造物の立地環境の違いによる塩化物イオンの供給量、コンクリートの塩化物イオン浸透性や水密性などに影響されるものであり、更なる検討が必要であると考えられる。

5. 亜硝酸イオンのコンクリート中への浸透による鉄筋腐食抑制効果

コンクリート中に塩化物イオンは浸透しているが、鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れや剥落が顕在化していない場合には、亜硝酸イオンをコンクリート中に浸透させ、鉄筋腐食を抑制することが検討されている。図-2に、これまで実験研究された亜硝酸イオンをコンクリート中へ浸透させる工法の経緯を示し、実験研究の一部の概要を、以下で説明する。

5.1 亜硝酸塩系防錆剤をコンクリートに塗布含浸する工法

亜硝酸塩系防錆剤をコンクリートに塗布含浸する工法では、当初は、鉄筋コンクリート用防錆剤で実績のある亜硝酸カルシウム防錆剤を塗布型に改良して実験研究が行われており、その後、アルカリ骨材反応に対する抑制効果のある亜硝酸リチウムが販売され、鉄筋腐食抑制にも効果があることから、亜硝酸リチウム防錆剤の塗布含浸に関する実験研究が行われるようになった。

亜硝酸カルシウム防錆剤の塗布含浸による鉄筋腐食抑制効果については、1990年に小林ら⁸⁾が、オートクレーブによる腐食促進試験を行い、鉄筋位置でのモル比が0.6~0.7程度で腐食抑制効果がある。また、腐食した鉄筋に対しては、モル比1.8~2.0で腐食抑制効果があると推定され、腐食していない鉄筋の腐食抑制に必要なモル比の2倍程度になり、これは、腐食した鉄筋表面の腐食沈

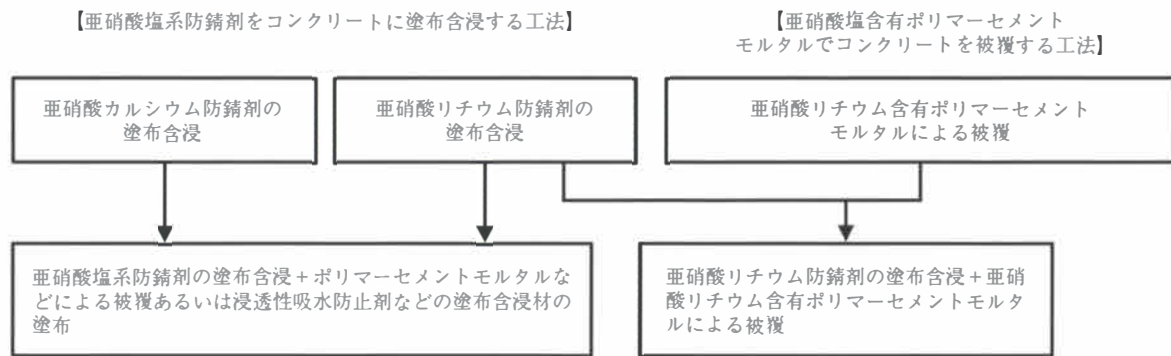


図-2 これまで実験研究された亜硝酸イオンをコンクリート中へ浸透させる工法の経緯

殿物の影響によるものであると報告している。

2015年、濱崎ら¹³⁾は、長崎県端島(軍艦島)の鉄筋コンクリート構造物群の保存・修復のため、鉄粉を含むモルタルに亜硝酸リチウム防錆剤を塗布含浸後、現地に暴露し、1年後の塩化物イオンおよび亜硝酸イオンの浸透状況を確認している。その結果、塗布含浸のみでは亜硝酸イオンを十分に供給することは難しいと報告している。

2019年、前山ら¹⁴⁾は、濃度5、10、20、40%の亜硝酸リチウム防錆剤をコンクリートに塗布含浸し、濃度と塗布量が含浸深さと施工性に与える影響を検討すると共に、亜硝酸イオンの拡散予測を行っている。その結果、含浸深さは、濃度にかかわらず塗布量が多いものほど大きい。また、濃度が高いほど、施工に要する時間が長くなると報告している。

亜硝酸塩系防錆剤を実構造物に塗布含浸する際には、雨水等による溶出防止のために表面被覆等が必要となる。

1991年、平居ら¹⁵⁾は、塩化物イオンを含む鉄筋コンクリート壁にけい酸リチウムおよび亜硝酸カルシウム防錆剤を塗布含浸後、ポリマーセメントモルタルで被覆を行い、5年目まで亜硝酸イオンの浸透状況を調査している。

1992年、山城ら¹⁶⁾は、コンクリートに亜硝酸リチウム防錆剤を塗布含浸した後、ポリマーセメントモルタルおよびアクリルゴム系塗装材で被覆した試験体を、5か月間屋外暴露した後、亜硝酸イオン量を測定し、Fickの拡散方程式で亜硝酸イオンのコンクリートへの拡散に関する解析を行っている。

亜硝酸カルシウム防錆剤と亜硝酸リチウム防錆剤の浸透性については、2011年、井上ら¹⁷⁾が、モルタルに亜硝酸カルシウム防錆剤(濃度30%)と亜硝酸リチウム防錆剤(濃度25および40%)を塗布含浸し、恒温恒湿室内での静置および屋外暴露を行った。その結果、図-3の通り、亜硝酸イオン量を合わせて塗布量を調整したものでは、表面から10mmまでは、いずれも亜硝酸リチウム防錆剤を塗布含浸した方が、亜硝酸カルシウム防錆剤のものよりも、亜硝酸イオン濃度が高いと報告している。

5.2 亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルでコンクリートを被覆する工法

亜硝酸塩系防錆剤を塗布含浸する場合、コンクリート

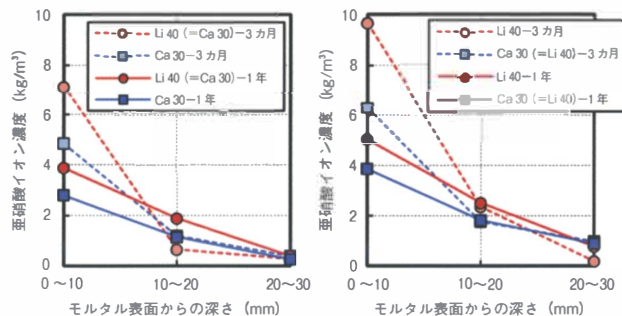


図-3 モルタル中の亜硝酸イオン濃度¹⁷⁾

中の塩化物イオン量に対して必要な亜硝酸イオン量を鉄筋位置まで浸透させるために、防錆剤を一度に塗布含浸することは、コンクリートの含水率や緻密さの影響で容易ではない。そこで、亜硝酸塩を高濃度に含有するモルタルでコンクリートを被覆して、モルタル中の亜硝酸イオンをコンクリートに浸透させる工法が検討された。

1989年、北川ら¹⁸⁾は、鉄筋コンクリートを亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで被覆することで、亜硝酸イオンをコンクリート中に拡散させることができ、炭酸化あるいは塩化物により鉄筋腐食が生じている場合、腐食を抑制することができると報告している。

1994年、堀ら¹⁹⁾は、塩化物イオンを含む鉄筋コンクリート試験体を、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで被覆し、温室内での静置と屋外暴露を行った。その結果、温室内のものは材齢60か月で、モル比0.5以上の場合、鉄筋の自然電位は-200mVより貴の電位を示すものが見られ、モル比2.0以上では、ほとんどの鉄筋で貴の電位を示す。また、亜硝酸イオンを高濃度に拡散させるためには、被覆するモルタルの塗厚を大きくするよりも、モルタル中の亜硝酸イオンの濃度を高くするほうが鉄筋腐食に対しては効果的である。更に、亜硝酸イオンの拡散は、シミュレーションモデルで、図-4の通り、ある程度、近似できるが充分でなく、拡散係数を時間で変化させる等のモデルが必要であると報告している。

2008年、青山ら²⁰⁾は、塩化物イオン量 2.5 kg/m^3 のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート試験体に塩化物イオン量 7 kg/m^3 のコンクリートで断面修復後、亜硝酸リチウム含有モルタルを貼付けて屋外暴露および乾湿繰り返し

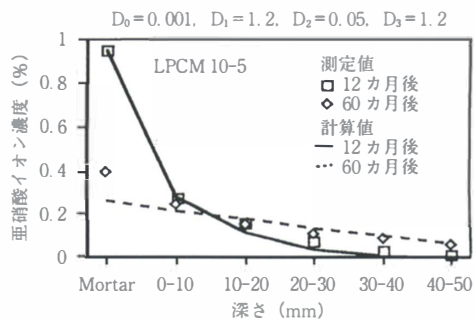


図-4 拡散シミュレーション¹⁹⁾

返し試験を行った。その際、塩化物イオン量 7kg/m^3 のコンクリートおよびモル比で 0.8 相当の亜硝酸リチウム防錆剤を添加したコンクリートで修復したものも同時に試験している。その結果、断面修復後に亜硝酸リチウム含有モルタルを貼付けたものおよび亜硝酸リチウム防錆剤を添加したコンクリートで修復したものは、鉄筋腐食抑制効果が確認され、亜硝酸リチウム含有モルタルの貼付けは、コンクリート中への亜硝酸イオンの浸透により、長期的に鉄筋の防錆雰囲気を持続できると報告している。

2010 年、武内ら¹⁰⁾ は、鉄筋コンクリート試験体をポリマーセメントモルタルおよび亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで被覆したものを、飛来塩分環境下で 20 年間暴露試験を行った結果、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの被覆 (LM) は、塩化物イオンの浸透を抑制すると共に、亜硝酸イオンがコンクリート内部まで浸透し、図-1 の通りモル比に大きな変化は見られず、鉄筋の腐食も認められなかったと報告している。

本誌 1996 年 2 月号²¹⁾ では、亜硝酸塩系防錆剤を断面修復材に混入し、断面修復材から亜硝酸イオンをコンクリート中に浸透させることで鉄筋腐食抑制を行うための試験施工を紹介している。

5.3 亜硝酸塩系防錆剤の塗布含浸と亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルの被覆を組合せた工法

亜硝酸塩系防錆剤の塗布含浸と亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルの被覆を組合せた工法は、亜硝酸塩系防錆剤の塗布含浸の塗布量でコンクリート中への亜硝酸イオンの浸透量が十分でない場合に、亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルを被覆することで亜硝酸イオンの浸透量を補う工法である。

1995 年、松里ら²²⁾ は、塩化物イオンを含む鉄筋コンクリート試験体に亜硝酸リチウム防錆剤を塗布含浸した後、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで被覆し、オートクレーブによる腐食促進試験を実施した結果、亜硝酸リチウム防錆剤を 200g/m^2 塗布含浸し、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで 2mm 被覆することで鉄筋腐食抑制効果が顕著に現れると報告している。これに関連して、井上ら²³⁾ は、コンクリート試験体に亜硝酸リチウム防錆剤を 200g/m^2 塗布含浸後、亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルで 2mm 被覆し、暴

露 1 年までの亜硝酸イオン量を分析した後、Fick の拡散方程式を用いて、亜硝酸イオンの見かけの拡散係数を求めた。その結果、コンクリートの水セメント比 50~70% の範囲では、 $2.6\sim 5.2\times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{sec}$ であったと報告している。

2013 年、福田ら²⁴⁾ は、沖縄の沿岸に建設された実大暴露構造物の柱および梁に、①亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの被覆、②亜硝酸リチウム防錆剤の塗布含浸+亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの被覆、③亜硝酸リチウム防錆剤の塗布含浸+亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルの被覆の 3 つの仕様で施工を行い、暴露 19 年までの塩化物イオン量、亜硝酸イオン量、リチウムイオン量の浸透状況を確認すると共に、拡散シミュレーションを行った。その結果、拡散シミュレーションでは、各イオンのコンクリート内での拡散係数の大きさは、亜硝酸イオン>塩化物イオン>リチウムイオンの傾向となったと報告している。

以上の通り、コンクリート中に亜硝酸イオンを浸透させる工法を紹介したが、亜硝酸イオンの浸透性に及ぼすコンクリートの種類の影響、コンクリート中の塩化物イオン量や鉄筋の腐食状態に対応したモル比等については、更なる検討が必要であると考えられる。

6. 亜硝酸塩系防錆剤を用いた部分断面修復工法による鉄筋腐食抑制効果

塩化物イオンを含む鉄筋コンクリートの補修では、コンクリートにひび割れや剥離が生じた部分に、部分断面修復工法が適用される。部分断面修復工法では、プライマー (含浸材を含む)、鉄筋防錆処理材、断面修復材を組み合わせており、断面修復部以外の部分のコンクリートを含めて下地調整材および表面被覆材が施工される。部分断面修復工法に使用する材料の成分や組み合わせは、メーカーにより異なるが、それぞれ材料間での相性に問題がないことを確認した補修工法としている。

2013 年、渡部ら²⁵⁾ は、図-5 に示す塩化物イオン量 2.4kg/m^3 とした鉄筋コンクリート試験体を用いて、9 種類の部分断面修復工法を行い、飛来塩分の影響を受けない環境下で 10 年間暴露した。その結果、多くのものが断面修復とコンクリートの境界部で鉄筋腐食が認められたが、断面修復部の鉄筋近傍のコンクリートに防錆剤を塗布含浸したものは、境界部分の局部腐食が抑制されていたと報告している。また、松林ら²⁶⁾ は、渡部らの報告に関連して、断面修復部にけい酸塩系含浸材および亜硝酸塩系防錆剤を塗布含浸し、鉄筋防錆処理では亜硝酸塩含有ポリマーセメントペーストを、断面修復では亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルを、表面被覆では亜硝酸塩含有ポリマーセメントペーストおよび柔軟型ポリマーセメント系被覆材を施工した試験体に対して、断面修復

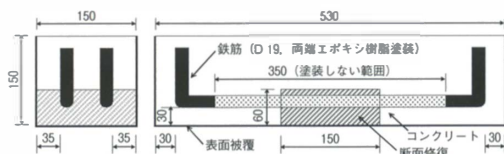


図-5 試験体の形状・寸法 (mm)²⁵⁾

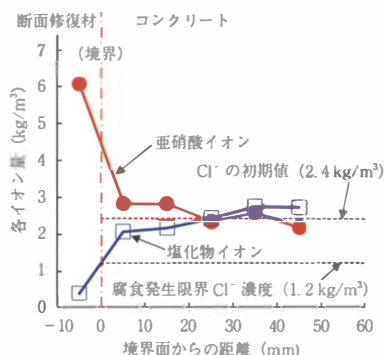


図-6 断面修復材とコンクリートの各イオンの量²⁶⁾

材とコンクリートの境界部の塩化物イオンおよび亜硝酸イオンを分析した結果、図-6の通りコンクリート部に亜硝酸イオンが認められ、境界面のモル比は1.0以上、コンクリートの50 mm奥で約0.6であったと報告している。

2015年、西嶋ら²⁷⁾は、部分断面修復を行うため、塩化物イオン量1.2および6.0 kg/m³の鉄筋コンクリート試験体を作製し、断面修復材にポリマーセメントモルタル、亜硝酸カルシウムあるいは亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルを用いて断面修復した後、塩化物イオン量6.0 kg/m³の試験体にはシラン系あるいはけい酸塩系表面含浸材を塗布含浸して、試験室内に静置した。その結果、部分断面修復の際、亜硝酸塩含有ポリマーセメントモルタルを用いると境界部のマクロセル腐食を抑制でき、防錆効果は、亜硝酸リチウムを用いたものの方が高い。また、シラン系表面含浸材と組み合わせた場合には、亜硝酸カルシウムの方が適していると報告している。

2018年、上田ら²⁸⁾は、塩化物イオン量8.0 kg/m³の鉄筋コンクリート試験体に、断面修復材としてフライアッシュを含む亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルを用いて打継ぎ、環境温度40℃の封かん状態で静置した。その結果、打継境界部を中心に亜硝酸イオンがコンクリート部に拡散し、塩化物イオンを含むコンクリート中の鉄筋腐食抑制効果が確認されたと報告している。

以上の通り、部分断面修復工法で、亜硝酸塩系防錆剤のコンクリートへの塗布含浸や亜硝酸塩含有モルタルを断面修復材として用いることは、コンクリートと断面修復の境界部の鉄筋腐食抑制に有効であることが確認されたが、未補修部の鉄筋腐食抑制も考慮した総合的な補修工法については、更なる検討が必要であると考えられる。

7. 亜硝酸塩系防錆剤を用いた補修工法の仕様化

亜硝酸塩系防錆剤を用いた補修工法が仕様化されてい

るものとしては、高速道路構造物の断面修復工法²⁹⁾による塩害対策のひとつに、はつり処理+防錆剤入り断面修復材+断面修復+表面被覆の組み合わせがある。これは、3年以内に鉄筋背面の防錆雰囲気モル比0.8以上となるのが可能な場合、防錆剤として亜硝酸リチウムを固形分で55 kg/m³混入した断面修復材を所定の厚さで施工後、通常の断面修復材で修復し、表面被覆を行うことになっている。

その他のマニュアルや手引き等では、塗布含浸材、鉄筋防錆処理材などで、亜硝酸塩系防錆剤に関する記載はあるが、前記のように仕様化されているものは少ない。

8. おわりに

亜硝酸塩系防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋腐食抑制に関する実験研究を紹介してきたが、紹介した以外に防錆剤の圧入による効果など、多くの実験研究が行われ、試験データが蓄積されている。また、亜硝酸塩系防錆剤を用いたコンクリート中の鉄筋腐食抑制は、中性化に起因する鉄筋腐食にも効果的である。この状況を踏まえると、現時点での亜硝酸塩系防錆剤を用いた鉄筋腐食抑制技術に関する体系化や補修設計の標準化等が行われる時期にきているのではないかと筆者は考える。

今回、紹介させていただきました論文の関係者に感謝すると共に、説明が不足している場合にはご容赦願いたい。

最後に、亜硝酸塩系防錆剤の研究経緯について、ご助言いただきました、堀 孝廣氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林一輔：防せい剤、コンクリート工学、Vol.16、No.3、pp.38~40、1978、3
- 2) 榊田佳寛：防せい剤、コンクリート工学、Vol.26、No.3、pp.80~84、1988、3
- 3) 大谷俊介・望月紀保・若林 徹・仲谷伸人：コンクリート中の鋼材に対する亜硝酸イオンの電気化学的挙動と電気防食との併用効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.1、pp.1103~1108、2011
- 4) 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
- 5) Virmani, Y. P., Clear, K. C. and Pasko, Jr., T. J.: Time to Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs, V.5 :Calcium Nitrite Admixture or Epoxy-Coated Reinforcing Bars as Corrosion Protection Systems, Report No.FHWA-RD-83-02, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1983
- 6) (株)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事、p.120、1986、9
- 7) 友史紀・榊田佳寛・田中 斉・福士 勲・高倉 誠・堀 孝廣・東 純彦：防錆剤大量添加による環境塩害の抑制に関する実験的研究(その2 塩分浸透促進下における防錆剤の効果について)、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)A、pp.293~294、1987、10
- 8) 小林明夫・牛島 栄・家室育夫・越川松宏：塗布型腐食抑制剤によるコンクリート中の鉄筋の防食に関する研究、土木学会論文集、第420号、V-13、pp.51~60、1990、8
- 9) 大城 武・伊部 博・近藤忠生・成底佐一郎：塩害環境下におけるRC構造物の劣化過程について、コンクリート工学年次論文集報告集、Vol.16、No.1、pp.947~952、1994、6
- 10) 武内道雄・須藤裕司・渡辺二夫：飛来塩分環境下に20年間曝露したコンクリート供試体に対する亜硝酸系防錆剤の効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.797~802、2010、7
- 11) 前山誠志・久保善司・木虎久人：異なる含水状態における亜硝酸リ

- チウム添加量が腐食速度に与える影響, 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, 第20巻, pp.57~60, 2020.10
- 12) 松田正義・大内田隆紀・大谷 博・秀島節治: 耐久性向上をめざした建物の設計・施工例—沖縄国際センター新築工事—, コンクリート工学, Vol.24, No.8, pp.35~44, 1986.8
- 13) 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
- 14) 前山誠志・久保善司・木虎久人・石井一騎: 亜硝酸系含浸材のコンクリートへの適用方法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.965~970, 2019
- 15) 平居孝之・斉藤 仁・越川松宏: 腐食抑制剤の塗布法に関する研究—既設 RC 構造物に適用して5年間の浸透性確認結果—, 第45回セメント技術大会講演集, pp.638~641, 1991.4
- 16) 山城博隆・岡田一興・八尾竜司: 防錆剤(亜硝酸イオン)の鉄筋コンクリート内の拡散—その2—, 第46回セメント技術大会講演集, pp.710~713, 1992.4
- 17) 井上真澄・須藤裕司・鮎田耕一・猪狩平三郎・岡田包儀: 亜硝酸系補修剤のコンクリートへの浸透性に関する基礎的研究, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, V-016, pp.31~32, 2011.9
- 18) 北川明雄・堀 孝廣・中村裕二: コンクリート表面被覆型亜硝酸塩含有モルタルの防錆効果, セメント・コンクリート論文集, No.43, pp.520~525, 1989.12
- 19) 堀 孝廣・山崎 聡・榎田佳寛: 防錆モルタルに関する研究, コンクリート工学論文集, 第5巻, 第1号, pp.89~98, 1994.1
- 20) 青山寅伸・平野誠志・宮里心一: 塩害損傷を受けたコンクリート構造物の効率的補修法の考案, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.1179~1184, 2008.7
- 21) 岡井賢一・森山 守・登坂知平・小澤郁夫: 塩害を受けた橋りょう上部工の全面修復—北陸自動車道 手取川橋—, コンクリート工学, Vol.34, No.2, pp.33~42, 1996.2
- 22) 松里広昭・井上和久・綾田隆史: 塗布型防錆剤を用いた鉄筋コンクリートの防食工法に関する研究 その1 防食効果に関する検討, 日本建築工学会 1995 年学術講演会研究発表論文集, pp.15~18, 1995.9
- 23) 井上和久・松里広昭・綾田隆史: 塗布型防錆剤を用いた鉄筋コンクリートの防食工法に関する研究 その2 コンクリート中への防錆剤の浸透に関する検討, 日本建築工学会 1995 年学術講演会研究発表論文集, pp.19~22, 1995.9
- 24) 福田杉夫・榎田佳寛: 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルによる塩害抑制効果の評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第684号, pp.251~259, 2013.2
- 25) 渡部 正・松林裕二・岸 利治・酒井雄也: 各種仕様で部分断面修復した鉄筋コンクリートの補修効果に関する長期屋外暴露実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1627~1632, 2013
- 26) 松林裕二・渡部 正・岸 利治・酒井雄也: 鉄筋コンクリート構造物の部分断面修復における境界部の鉄筋腐食抑制に関する一考察, 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, V-157, pp.313~314, 2013.9
- 27) 西嶋大貴・檀原弘貴・添田政司・三浦 明: 部分断面修復としてポリマーセメントモルタルと表面含浸材の併用による防錆効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1663~1668, 2015
- 28) 上田隆雄・横山直哉・江良和徳・中村定明: 塩害劣化コンクリートに対するフライアッシュと亜硝酸リチウムを用いた断面修復による補修効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1515~1520, 2018
- 29) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株): 設計要領 第二集 橋梁保全編 令和2年7月版, pp.4-18~4-43, (株)高速道路総合技術研究所, 2020.9

《図書案内》

性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会報告書

ポーラスコンクリートは、内部に連続する空隙を有し、透水性、保水性、植生など多様な性能を設計できることから、今後、環境面のみならず、豪雨対策などの防災面で重要な役割を果たす社会基盤材料となることが期待されています。しかし、現時点では、我が国で性能設計の基本となる安定的な生産に不可欠な施工標準や品質保証などの規準を整備するに至っておらず、このことがポーラスコンクリートの健全な普及を妨げていると考えられます。

日本コンクリート工学会に平成25年度から(2年間)設置された「性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会(委員長:畑中重光(三重大学))」では、土木、建築、化学の各分野から、また研究者だけでなく、発注、製造、施工の分野からも委員を募り、実務・実用段階で要求される課題に重点を置いた研究活動を行い、ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立に向けた活動を実施しました。このたび、上記内容の取りまとめを行い、報告書を刊行しました。

【目次】

- 1章 序
- 2章 最近10年間の国内外の文献からみたポーラスコンクリートの研究動向
- 3章 現場打ちポーラスコンクリートの用途別性能設計の事例
- 4章 ポーラスコンクリート製品の現状と課題の整理
- 5章 品質評価のための試験方法
- 6章 共通実験と強度管理方法試案
- 7章 ポーラスコンクリートの今後について

A4判・343ページ(2015年刊行)/定価6600円(税込)、会員価格5500円(税込)/送料790円

●申込先: 公益社団法人 日本コンクリート工学会「書籍販売」係
〒102-0083 東京都千代田区麹町1-7 相互半蔵門ビル12階/電話(03)3263-1573