

補修剤に含有する亜硝酸イオンの溶脱と浸透に関する研究

北見工業大学 正会員 ○井上 真澄
 北見工業大学大学院 学生員 野田 亮佑
 北見工業大学 正会員 崔 希燮
 日産化学工業(株) 正会員 須藤 裕司
 北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一

1. はじめに

亜硝酸塩系補修剤は、コンクリート表面に塗布またはポリマーセメントモルタル(以降、PCM)やポリマーセメントペースト(以降、PCP)に添加して表面被覆することで、補修剤に含有する亜硝酸イオン(以後、 NO_2^-)がコンクリート内部の鉄筋周辺まで浸透し、破壊された不動態被膜を再生することで鉄筋腐食を抑制する効果がある。しかし、 NO_2^- は水に溶けやすく、外部からの水に対して表面から溶脱する可能性があり、亜硝酸塩系補修剤で補修したコンクリートでは、降雨雪等の気象作用により被覆面から NO_2^- が溶脱することが懸念される。

本研究では、亜硝酸塩系補修剤で補修を施した供試体を作製し、降雨を模擬した散水による乾湿繰返しを作用させた場合における NO_2^- の溶脱量およびコンクリート内部への浸透量を測定することにより、 NO_2^- の補修面内外への挙動について実験的検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に亜硝酸リチウム 40%水溶液(以下、LN40)を用いた各補修方法を示す。溶脱試験では、実際の現場で採用されている補修方法として、LN(LN40 を塗布)、LNPCP(LN40 を添加した PCP による表面被覆)、LNPCM(LN40 を添加した PCM により表面被覆)、LN+PCM(LN40 を塗布した後、PCM による表面被覆)、これに N(無補修)を加えた計 5 ケースで行った。浸透試験は、LN、LNPCP、LNPCM の計 3 ケースで実施した。LN40 の塗布量は、実際の施工で標準的な塗布量である $200\text{g}/\text{m}^2$ とし、LNPCP の被覆厚は 2mm、LNPCM と LN+PCM については 5mm とした。

表-1 補修方法一覧

供試体名	補修方法	NO_2^- 固形分量	
		溶脱	浸透
N	無補修	0 g	—
LN	LN40 塗布	6.26g	0.70g
LNPCP	LN40 添加 PCP による表面被覆(2mm 厚)	12.4g	1.34g
LNPCM	LN40 添加 PCM による表面被覆(5mm 厚)	22.9g	2.54g
LN+PCM	LN40 塗布後、PCM による表面被覆(5mm 厚)	6.26g	—

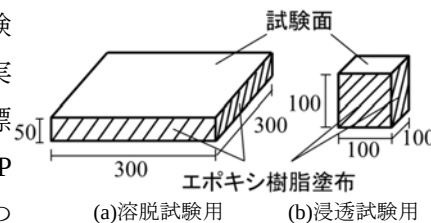


図-1 供試体概要



図-2 供試体の設置および散水

図-1に基板となるコンクリート供試体を示す。W/C=60%のコンクリートを型枠に打設後材齢1日で脱型し、6日間水中養生($20\pm 1^\circ\text{C}$)を行い、さらに21日間の気中養生($20\pm 1^\circ\text{C}$, RH50±5%)を行った。養生終了後は、試験面は研磨紙で研磨および空気洗浄を行い、LN40を用いた各種補修を施した。補修後、7日間の養生期間($20\pm 1^\circ\text{C}$, RH50±5%)をおいた。試験面以外での NO_2^- の溶脱および浸透を防ぐために、試験面以外はエポキシ樹脂で被覆し、散水時の水分の飛散を防ぐためアクリル板を取付け、図-2に示すように 35° 傾けて設置した¹⁾。

溶脱試験では、模擬降雨として霧吹きによる散水(図-2 参照)を作用させ、日本の年平均降水量(約 1700mm)を参考に1日当たりの散水量を $1.86\text{g}/\text{mm}^2$ とした。乾湿サイクルは日本の年平均降水日数(約 128日)を参考に乾燥(3日)、散水(1日)の計4日を1サイクルとし、91サイクル(1年)まで乾湿の繰返しを作用させた。散水日は10時から16時まで2時間おきの計4回で行い、1回の散水では散水量の $1.86\text{g}/\text{mm}^2$ の4分の1の $0.465\text{g}/\text{mm}^2$ を散水した。散水後の溶液は、サイクル毎に回収し、イオンクロマトグラフ法により NO_2^- 濃度を測定した。浸透試験では、溶脱試験と同様の散水による乾湿の繰返しを作用させ、45サイクル(6ヶ月)および91サイクル(1年)終了時点で補修剤部分およびコンクリート中の NO_2^- 濃度を測定した。

キーワード 亜硝酸塩系補修剤、亜硝酸イオン、溶脱、浸透

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 北見工業大学工学部社会環境工学科 TEL 0157-26-9513

3. 実験結果および考察

図-3 に溶脱試験における NO_2^- 濃度の経時変化 (22 サイクルまで) を、表-2 に 91 サイクル終了時点における NO_2^- 固形分の溶脱割合を示す。LN は、サイクル初期から溶脱量が最も多く、 NO_2^- の固形分の溶脱割合も約 22% を示した。LN+PCM は 1 サイクル終了時点における溶脱量は LN と比較し約 70% 減少しており、PCM を被覆することで溶脱量が抑制された。一方、LN40 を添加した LNPCP と LNPCM を比較すると、LNPCM の方が NO_2^- 濃度が高い数値を示した。しかし、表-2 の NO_2^- 固形分の溶脱割合で比較すれば両者の溶脱割合は同等であり、LNPCP および LNPCM の NO_2^- の溶脱特性に差異はないものと考えられる。

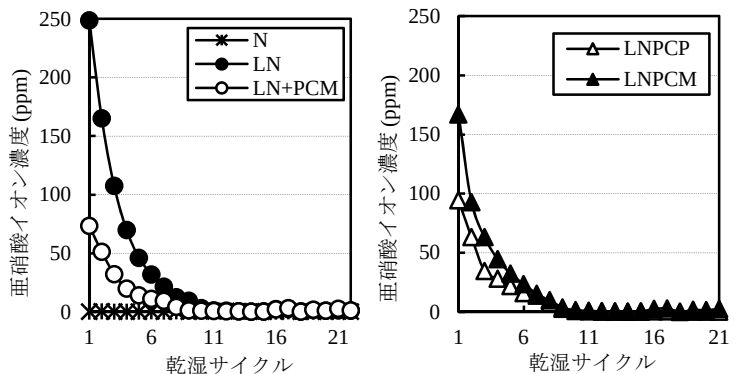


図-3 NO_2^- 濃度の経時変化(22 サイクルまで)

表-2 NO_2^- 固形分の溶脱割合(91 サイクル終了時点)

補修方法	LN	LNPCP	LNPCM	LN+PCM
補修剤に含有する NO_2^- 量 (g)	6.3	12.4	22.9	6.3
91 サイクル終了時点				
NO_2^- 溶脱量 (g)	1.39	0.52	0.93	0.49
NO_2^- 溶脱割合 (%)	22.2	4.2	4.1	7.8

各補修方法における NO_2^- 濃度の経時変化をみると、10 サイクル程度までの変化はあるものの、それ以降では濃度の変化は小さい。微量の NO_2^- は検出されているものの、無補修の N と同等の値であり、本実験条件の範囲においては、10 サイクル以降では NO_2^- はほとんど溶脱していないと考えられる。なお、水質汚濁防止法の排出基準との関係を見ると、各補修方法で溶脱量は異なるものの、全ての補修方法において各サイクルの NO_2^- 濃度は、水質汚濁防止法の排出基準で規定されている 329ppm より小さな値を示した。

次に補修時に補修剤内部に含有していた NO_2^- の固形分量と、試験後の乾湿サイクル下で外部に溶脱した NO_2^- の固形分量、補修剤内部に残存している NO_2^- の固形分量、コンクリート中に浸透した NO_2^- の固形分量の関係から NO_2^- の収支について考察する。図-4 に補修時に補修剤中に含有する NO_2^- 固形分量に対する溶脱量と浸透量の割合(91 サイクル終了時点)を示す。LN では補修時の補修剤に含まれる NO_2^- 量に対してコンクリート内部に 74% が浸透したのに対して、22% が溶脱した。一方の LN を添加した LNPCP および LNPCM では、いずれも補修剤内の含有量およびコンクリート内部への浸透量を合わせると約 90% を示しており、溶脱量は 4% 程度であった。LN40 を単体の補修剤として用いるよりは、PCP や PCM に添加して補修することで NO_2^- の溶脱が抑制され、それ以外の NO_2^- は補修剤内およびコンクリート内部に残存・浸透していることが確認された。

91 サイクル終了時点における NO_2^- 溶脱量と補修剤およびコンクリート内部に残存・浸透した NO_2^- 量を合計すると固形分量の割合は 93~96% となり、補修時点と 91 サイクル終了時点の NO_2^- の総量に若干の差異が生じた。しかし、これはイオン分析における計測誤差の範囲であり、 NO_2^- の補修面内外への挙動を概ね評価できたものと考えられる。

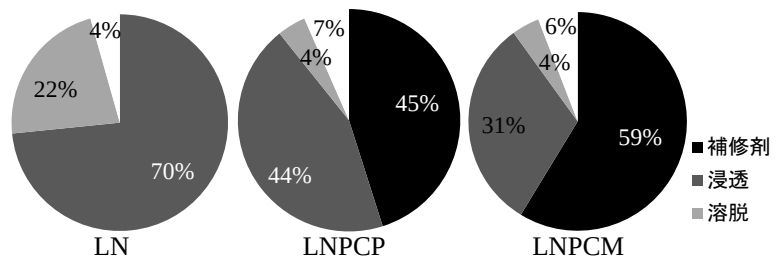


図-4 補修剤中の NO_2^- 固形分量に対する溶脱・浸透量の割合 (91 サイクル終了時点)

4. まとめ

- 1) 各補修方法において 10 サイクル程度で NO_2^- の溶脱量の変化は小さくなり NO_2^- がほとんど検出されなくなった。また、補修方法により差異はあるものの、全てのサイクルで NO_2^- の溶脱量は水質汚濁防止法の排出基準で定められている 329ppm 以下であった。
- 2) LN40 を PCP や PCM に添加して補修することで、 NO_2^- の溶脱が抑制され、それ以外の NO_2^- は補修剤内およびコンクリート内部に残存・浸透していることが確認された。

参考文献 1) 野田亮佑, 井上真澄, 須藤裕司: 補修剤に含有する亜硝酸イオンの溶脱に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.69, V-134, 2014.8