

亜硝酸リチウムによる鉄筋防錆効果の簡易評価試験方法の検討

極東興和株式会社 正会員 ○北田 達也
 極東興和株式会社 正会員 江良 和徳
 広島工業大学 フェロー会員 竹田 宣典

1. はじめに

亜硝酸リチウム(LiNO_2)を併用したひび割れ注入工法や断面修復工法は、亜硝酸イオンを鉄筋周囲に浸透させることで鉄筋の不動態皮膜を再生し、鉄筋腐食環境の改善が期待できる補修工法である。¹⁾再劣化を生じにくい工法であるため、近年ではコンクリート構造物の塩害対策として適用される事例が増加するとともに、その防錆効果について様々な研究がされている。

しかし、現状の亜硝酸リチウムの防錆効果の評価方法はコンクリート供試体の打設から始まり、それを促進試験や暴露試験によって評価することが求められ多大な労力や時間が必要となる。そこで、本稿では塩害環境下のコンクリート構造物への亜硝酸リチウム適用を模擬し、亜硝酸イオンと塩化物イオンを含有するモルタルを鉄筋に塗布した簡易的な供試体を用いて、亜硝酸イオンの防錆効果を評価する方法を検討した。

2. 実験概要

(1) 供試体の作製および暴露方法

鉄筋には $\phi 13\text{mm}$ 、長さ 200mm のみがき丸鋼を使用し、先端にリード線を取り付け、接続部分にエポキシ樹脂で防水処理を施した。また、水道水を噴霧し、表面が茶褐色になるまで腐食させた初期腐食ありの鉄筋と、初期腐食なしの鉄筋の2シリーズとした。図-1に実験に用いた鉄筋を示す。鉄筋には 10g 程度(塗布量: 約 $0.12\text{g}/\text{cm}^2$ 、付着厚さ: 約 0.6mm)のモルタルを1配合あたり6本塗布した。表-1にモルタルの配合を示す。なお、セメントに普通ポルトランド、細骨材に珪砂6号(絶乾密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$)を用いた。また、塩害環境を模擬するために、一部の配合に塩化物イオン量が $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ または $10.0\text{kg}/\text{m}^3$ となるように NaCl を添加した。混入する亜硝酸リチウム水溶液(濃度: 40%)の量は、亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ (以下、モル比とする)が $0, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5$ となるように設定した。

(2) 暴露方法

相対湿度 $80\sim 90\%$ の恒温恒湿室に静置した。暴露状況を図-2に示す。

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m^3)						
		Cl^{-*2} (kg/m^3)	W	C	S	mol 比	NO_2 量	LiNO_2
60	1.5	0.00 (0.00)	391	651	977	0.0^{*1}	0.0	0.0
						0.3^{*1}	1.62	4.1
						0.6^{*1}	3.25	8.1
						0.8^{*1}	4.33	10.8
						1.0^{*1}	5.41	13.5
						1.5^{*1}	8.11	20.3
60	1.5	3.00 (4.17)	391	651	977	0.0	0.0	0.0
						0.3	1.62	4.1
						0.6	3.25	8.1
						0.8	4.33	10.8
						1.0	5.41	13.5
						1.5	8.11	20.3
60	1.5	10.00 (13.89)	391	651	977	0.0	0.0	0.0
						0.3	5.41	13.5
						0.6	10.81	27.0
						0.8	14.41	36.1
						1.0	18.02	45.1
						1.5	27.03	67.6

※1 塩化物イオン量が $0.0\text{kg}/\text{m}^3$ の供試体には、塩化物イオン量がペースト中に $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ が含有した場合のモル比に相当する亜硝酸イオンを添加した。

※2 Cl^- の欄中の()内の数値はモルタル中の塩化物イオン量を示す。



図-1 実験に用いた鉄筋

図-2 供試体暴露状況

表-2 目視観察による腐食評価基準

腐食 面積率	腐食 なし	点錆 あり	20%以下	20% ~80%	80%以上
評価	A	B	C	D	E

キーワード 亜硝酸リチウム, 塩化物イオン, 鉄筋腐食, 自然電位, 簡易試験

連絡先 〒732-0052 広島市東区光町 2-6-31 極東興和株式会社

T E L 082-261-1204

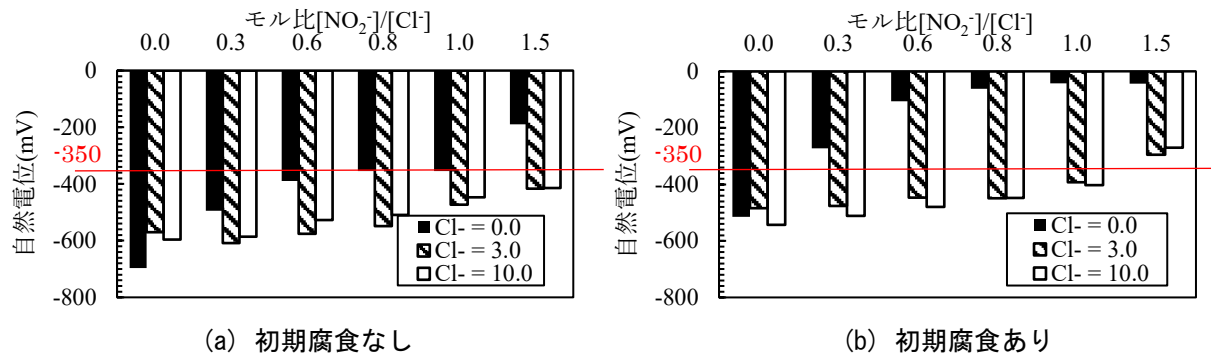


図-3 自然電位とモル比の関係

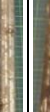
Cl量	0.0kg/m ³						3.0kg/m ³						10.0kg/m ³					
モル比	0	0.3	0.6	0.8	1.0	1.5	0	0.3	0.6	0.8	1.0	1.5	0	0.3	0.6	0.8	1.0	1.5
外観																		
評価	B	B	A	A	A	A	E	E	D	D	C	C	E	E	D	D	C	C

図-4 モルタルを剥いだ鉄筋の目視評価（初期腐食なし）

(3) 評価方法

40 日間の暴露後に携帯型鉄筋腐食診断器 (SRiCM-V) を用いて自然電位を測定した。また、暴露後 293 日後には塗布したモルタルを剥がし、鉄筋の腐食程度を目視観察により表-2 に示す評価基準で判定した。

3. 結果および考察

3.1 自然電位とモル比 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ の関係

図-3 に亜硝酸リチウム含有モルタル塗布後 40 日における自然電位とモル比の関係を示す。自然電位は初期腐食なしおよび初期腐食ありの両者ともモル比の増加に伴って貴側に移行した。鉄筋腐食判定基準 (ASTM C 876) に従い、 -350mV 以下を腐食と判定とすると初期腐食なしのシリーズにおいて $\text{Cl}^-=0.0\text{kg/m}^3$ の供試体ではモル比が 0.8 以上であれば腐食が抑制されたと推測される。しかし、 $\text{Cl}^-=3.0\text{kg/m}^3$ および 10.0kg/m^3 の供試体は、モル比を 1.5 とした場合でも自然電位は -350mV を下回った。一方、初期腐食ありのシリーズでは $\text{Cl}^-=0.0\text{kg/m}^3$ の供試体はモル比を 0.3 以上とすると、自然電位は -350mV より貴な値を示した。また、 $\text{Cl}^-=3.0\text{kg/m}^3$ および 10.0kg/m^3 の供試体はモル比を 1.5 にすることで -350mV よりも貴な電位を示した。

また、初期腐食ありと初期腐食なしの供試体を比較すると自然電位は初期腐食ありで高い傾向があると推測されたが、実際には全体的に初期腐食なしのシリーズで高い傾向があった。これは、モルタルの塗布厚の不均一性が影響し、一部の測定値で鉄筋腐食の抑制に必要なモ

ル比が過大に評価されたと推測される。

3.2 モルタルを剥いだ状態の目視評価

初期腐食なしのシリーズのモルタルを剥いだ鉄筋の目視評価を図-4 に示す。塩化物イオン量が 0.0kg/m^3 の供試体はモル比が 0.3 以下の場合に評価 B となったが、モル比が 0.6 以上の供試体では腐食は見られず、評価 A となった。塩化物イオン量が 3.0kg/m^3 および 10.0kg/m^3 の供試体は、モル比が 0.3 以下の供試体は評価 E となったが、モル比を 0.6~0.8 とした供試体は評価 D となり、モル比を 1.0 以上とした供試体で評価 C となった。

4. まとめ

- (1) 亜硝酸イオンと塩化物イオンのモル比 $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ を高くすることで腐食した鉄筋の自然電位は貴側に移行した。目視による評価においても腐食が減少する傾向があったことから、鉄筋に不動態被膜が生成され、腐食の進行が抑制されたと推察される。
- (2) 亜硝酸リチウムの腐食抑制効果は塩化物イオンを含有した簡易的な供試体により簡便に評価できる可能性が示された。

【謝辞】本研究の遂行にあたり、広島工業大学の竹田研究室の秋山氏、近藤氏に多くの実験を実施して頂きました。ここに感謝の意を記したいと思います。

参考文献

- 1) 塩害と ASR の複合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材料の適用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, JSMS 18, 335-340, 2018-10