

コンクリート中の亜硝酸イオンの拡散について

東京電力ホールディングス 正会員 ○斉藤 仁 正会員 岡 滋晃
 東京電力パワーグリッド 正会員 佐藤 克晴
 東電設計 正会員 中川 貴之 正会員 志岐 仁成
 広島工業大学 フェロー会員 竹田 宣典
 近未来コンクリート研究会 名誉会員 十河 茂幸
 コンクリートメンテナンス協会 正会員 徳納 剛

1. 目的

鉄筋コンクリートの塩害に対する予防保全の一つとして亜硝酸リチウム水溶液を用いた表面含浸工法が挙げられる。この水溶液のうち、亜硝酸イオン(NO_2^-)が鉄筋の不動態皮膜の再生を担うもので、予防保全として有効な手段といえる。

一方、亜硝酸イオンによる予防保全を有効に機能させるには、潜伏期や進展期に鉄筋位置における塩化物イオン(Cl^-)に対する亜硝酸イオンのモル比が、1.0以上になることが必要とされている。しかしながら、亜硝酸イオンのコンクリート中の拡散現象を定量的に評価している事例は少なく^{たとえば 1)}、表面含浸を機能させるための塗布時期と塗布量は明確とはいえない。そこで、種々の供試体を用いて亜硝酸イオンの拡散現象について確認し、最終的には拡散係数の大きさについて考察した。

2. 供試体の種類および表面含浸の試験条件

供試体の種類および表面含浸の試験条件は表 2.1 に示すとおりで、それぞれの設定理由を以下に示す。なお、供試体の大きさは図 2.1 に示すとおりで、表 2.1 の各試験ケースに対して 2 体の供試体を用いた。

本報告で塩害の対象とする構造物は、シールドトンネルおよび開削トンネルである。一般的にシールドトンネルに用いられるセグメントは水セメント比(W/C)=35%程度であり、開削トンネルの現場打ちコンクリートはW/C=50%前後である。そこで、供試体のW/Cは35%、45%、55%の3種類とした。また、実際の構造物はその環境によりコンクリート中の水の飽和度が異なり、実測値は20%程度から70%程度とばらついている。供試体はこのばらつきを考慮し、飽和度20%相当、40%相当、70%相当の3種類とした。なお、表 2.1 では、飽和度を重量減少率(飽和度100%と目標とする飽和度との差分重量)として表現した。飽和度と重量減少率の関係は表 2.2 に示すとおりである。

亜硝酸リチウム水溶液は限界濃度である40%を用い、その塗布量は現場での標準的な塗布量である 0.3kg/m^2 とその2倍である 0.6kg/m^2 とした。また、塗布の方向は重力による影響を考慮し、上下2方向とした。

表 2.1 供試体の種類および表面含浸の試験条件

試験ケース	35 ①	35 ②	35 ③	35 ④	35 ⑤	35 ⑥	35 ⑦	35 ⑧	45 ①	45 ②	45 ③	55 ①	55 ②	55 ③	55 ④	55 ⑤	55 ⑥	55 ⑦	55 ⑧
W/C(%)	35								45			55							
重量減少率(%)	1.5		3.0		4.0				1.5	3.0	4.0	1.5		3.0		4.0			
塗布量(kg/m^2)	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.3	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.3	0.6	0.6
塗布方向	下	下	下	下	下	上	下	上	下	下	下	下	下	下	下	下	上	下	上

キーワード 亜硝酸イオン, 拡散, 拡散係数, 予防保全, 表面含浸

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3 東京電力ホールディングス(株) TEL 090-6720-3003

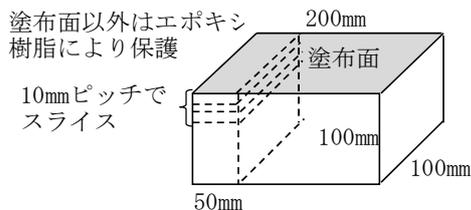


図 2.1 供試体の寸法とスライスの方法

表 2.2 飽和度と重量減少率の関係

飽和度 (%)	70%相当	40%相当	20%相当
重量減少率 (%)	1.5%	3.0%	4.0%

表 2.3 亜硝酸イオン濃度および拡散係数の推定値

試験ケース	35 ①	35 ②	35 ③	35 ④	35 ⑤	35 ⑥	35 ⑦	35 ⑧	45 ①	45 ②	45 ③	55 ①	55 ②	55 ③	55 ④	55 ⑤	55 ⑥	55 ⑦	55 ⑧	
NO ₂ ⁻ 濃度 (kg/m ³)	0-10mm	6.20	6.02	8.61	10.65	11.91	9.16	25.93	23.58	2.20	9.02	11.04	2.31	3.50	3.73	6.43	3.84	4.77	8.44	15.95
	10-20mm	0.12	0.36	0.25	1.58	0.00	0.00	0.36	0.48	0.58	0.00	0.00	0.55	1.20	0.00	0.11	0.00	0.00	0.33	0.00
	20-30mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No ₂ ⁻ 拡散係数 (cm ² /年)	0.16	0.23	0.17	0.36	0.11	0.11	0.13	0.15	0.54	0.12	0.11	0.81	0.77	0.14	0.16	0.14	0.13	0.18	0.10	
Cl ⁻ 拡散係数 (cm ² /年)	0.18								0.35			0.71								

3. 試験結果および考察

供試体中の亜硝酸イオン濃度は、図 2.1 に示すように、塗布面から 10mm ピッチで 30mm までスライスし、それぞれでイオンクロマトグラフィーにより測定した。なお、測定は塗布後 12 か月後に実施した。

10mm ピッチで測定した亜硝酸イオン濃度および拡散係数の推定値を表 2.3 に示す。ここで、亜硝酸イオンの拡散係数は、10mm ピッチで測定した亜硝酸イオン濃度から最小二乗法により推定したものである。また、表 2.3 には、コンクリート標準示方書の算定式による塩化物イオンの拡散係数も併せて示している。

表 2.3 から、いずれのケースでも深さ 10-20mm の亜硝酸イオン濃度は深さ 0-10mm よりかなり小さい値を示している。つまり、コンクリート中への水分の移動に伴う亜硝酸イオンの浸透のような移流現象はごくわずかな領域であると考えられる。

また、水の飽和度が低い供試体 (35③~⑧, 45②~③, 55③~⑧) の拡散係数は、飽和度の高い供試体 (35①~②, 45①, 55①~②) の拡散係数より小さく、かつ W/C の大きさや塗布の方向によらずほぼ一定値を示している。これは、拡散現象を生じるにはコンクリート中の水分量が一定程度以上必要になるということを示していると考えられる。

一方、飽和度が高い供試体 (35①~②, 45①, 55①~②) の拡散係数は、W/C に応じた塩化物イオンの拡散係数とほぼ同等か若干高い傾向を示している。つまり、鉄筋の不動態皮膜の再生を有効に機能させるには、亜硝酸リチウム水溶液を多く塗布し、鉄筋位置での亜硝酸イオン濃度を高める必要があることがわかった。

4. まとめ

本報告の成果を以下にまとめる。今後は、亜硝酸リチウム水溶液の塗布量を多くする方策について検討を進める予定である。

- (1) 亜硝酸イオンの移流領域はコンクリート表面のごくわずかな領域となる。
- (2) 亜硝酸イオンの拡散はコンクリート中の水分量が一定程度以上必要となる。
- (3) 亜硝酸イオンの拡散係数は塩化物イオンの拡散係数とほぼ同等か若干高い程度となる。
- (4) 亜硝酸リチウム水溶液による表面含浸を有効に機能させるには、塗布量を多くする必要がある。

参考文献

- 1) 福田杉夫ら：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