

亜硝酸 Li 含有断面修復材の亜硝酸イオン拡散が未はつり部の鉄筋防錆に与える影響

福岡大学大学院 学生会員 ○岡部 倖大 福岡大学大学院 学生会員 庄野 克哉
福岡大学 正会員 樋原 弘貴 福岡大学大学院 正会員 添田 政司 正会員 山田 悠二

1. はじめに

劣化コンクリート構造物における補修方法として、断面修復工法が広く用いられている。断面修復では、主鉄筋の背面まではつり除去を行うことが前提条件になるが、構造上背面まではつり除去を行うことが困難なケースが存在する。このようなケースにおいて、鉄筋防錆性能を有する亜硝酸 Li を高濃度で混和した補修材を用いる取り組みがなされている。しかし、亜硝酸 Li 中の亜硝酸イオンの拡散性能や未はつり部の鉄筋に付与される防錆性能に関する知見は少ない。そこで本研究は、塩害劣化コンクリートを想定し亜硝酸 Li 混和モルタルを適用した場合の NO_2^- の拡散による未はつり部の防錆効果についてコンクリート内の各種イオン (NO_2^- , Cl^-) 分布や鉄筋の腐食状況から評価を行った。

2. 実験概要

供試体は、断面修復工法のはつり除去後を模擬して既設コンクリートの打設および鉄筋の配筋を図-1に示す通りに行った。コンクリートのはつり除去は、鉄筋の半分が露出した状態までとした。また、既設コンクリートには塩害による残存 Cl^- を模擬し、 Cl^- 量が 5.0 , 15.0kg/m^3 となるようにあらかじめ塩分を内在させた。また、比較用として、鉄筋の背面まで除去した場合を想定し、 Cl^- 量が 0kg/m^3 を用意した。埋設させた鉄筋は、 $\phi 15\text{mm}$ の丸鋼鉄筋であり、既設コンクリートへの配筋後は、屋外環境にて鉄筋表面に腐食が発生するまで静置させ、腐食を確認後、断面修復工法による補修を実施した。補修モルタル水準は表-1に示す通りである。亜硝酸 Li 併用型供試体の断面修復は、はつり面から 10mm の高さで亜硝酸 Li 混和モルタルを塗布し、残りはポリマーセメントモルタルで補修を行った。亜硝酸 Li の濃度内訳は、既設コンクリート内の Cl^- 量に対して $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ と固形分 55kg/m^3 (Cl^- 量 5kg/m^3 場合 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 7.3$, Cl^- 量 15kg/m^3 の場合 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 2.5$) である。補修後の供試体は補修面を除く全ての面をアルミテープで被覆し、屋外に曝露した。また、補修から 620 日が経過した時点で解体試験を行い、鉄筋の腐食状況確認、腐食重量、腐食面積率、各種イオン量 (NO_2^- , Cl^-) の測定を行った。

3. 結果および考察

図-2には、既設部に Cl^- を 15kg/m^3 混和した各 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ における補修面および既設面から測定した自然電位の経時変化を $\text{Cl}^- : 0\text{kg/m}^3$, $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 0$ と併せて示す。この結果、いずれの供試体も補修面および既設面において、長期的な貴化傾向を示しており、補修面においては、 $\text{Cl}^- : 0\text{kg/m}^3$, $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 0$ と同等以上の電位を示している。しかし、 $\text{Cl}^- : 0\text{kg/m}^3$, $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 0$ の各測定面から測定した電位は同等程度の値を示すのに対し、はつり量を低減したものは、補修面および既設面にて 100mv 程度の電位差が存在している。このことから、同一鉄筋における電位差により生じるマクロセル腐食が形

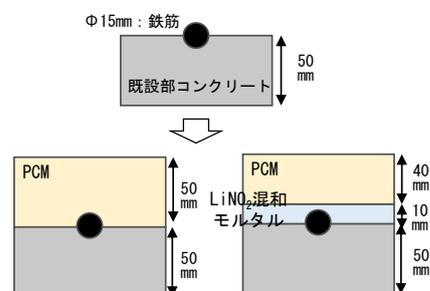


図-1 供試体概要

表-1 供試体水準

既設部 (Cl^- 量)	0kg/m^3	5kg/m^3	15kg/m^3
$\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$	0	1, 7.3(固形分55)	1, 2.5(固形分55)

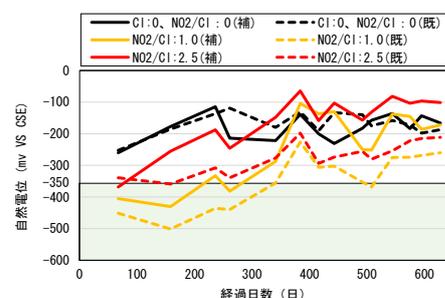


図-2 自然電位経時変化
($\text{Cl}^- : 15\text{kg/m}^3$)

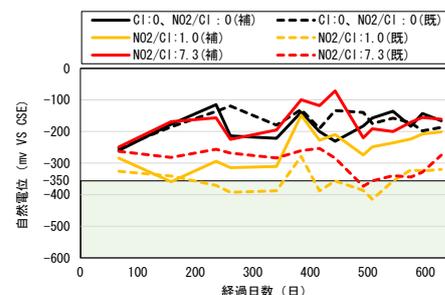


図-3 自然電位経時変化
($\text{Cl}^- : 5\text{kg/m}^3$)

キーワード 亜硝酸リチウム, 断面修復工法, 亜硝酸イオン

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南區七隈8丁目19番1号 福岡大学 TEL092-871-6631

成される可能性が考えられた。図-3は、既設部に Cl^- を 5kg/m^3 混和した各 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ における補修面および既設面から測定した自然電位の経時変化を $\text{Cl}^- : 0\text{kg/m}^3$, $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 0$ と併せて示す。結果から、 Cl^- 量 5kg/m^3 においても補修面において電位は長期的な貴化傾向を示しており、補修後 620 日が経過した現在、補修面において $\text{Cl}^- : 0\text{kg/m}^3$, $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 0$ と同等の防錆効果が発揮されている。ただし、 5kg/m^3 においても 15kg/m^3 同様に各測定面にて電位差が生じた。

図-4には、既設コンクリートのはつり面から 2.5mm 毎の深さにおける $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ の分布を示す。結果より、コンクリート深さ毎の $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ は、設計値 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ において、鉄筋位置にて $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ を下回る結果となった。一方の混入量が大きい固形分 55kg/m^3 では、鉄筋位置で $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ 以上を確保できており、 Cl^- 量に対して、腐食抑制に十分な NO_2^- が存在していた。ただし、 Cl^- 量が多い 15kg/m^3 では $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ が大幅に小さくなることから、 Cl^- が継続的に供給される環境においては、防錆性能の低下が考えられた。また、混入量が小さい設計値 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ のものは、鉄筋位置ですでに 1.0 以下になっていることから、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ 以上となる NO_2^- を確保するためには、設計値を $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ 以上にすべきであると考えられた。また、 Cl^- 量に応じた最適な設計値 ($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$) が存在すると考えられた。

図-5には、各種鉄筋の腐食面積率を既設コンクリート側および補修モルタル側に分けて示す。結果から、鉄筋腐食面積の割合は、既設コンクリート側で大きい割合を占めており、補修モルタル側はわずかであった。また、鉄筋の腐食面積は、異なる $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ 以上に既設部コンクリート内の Cl^- 量が大い要因となっていた。

図-6には、鉄筋の腐食重量と腐食面積率の割合を示す。腐食重量は面積率に比例しており、いずれの Cl^- 量においても $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ が高くなるに従って腐食重量も減少している。次に、写真-1に同一鉄筋における補修モルタル側と既設部側の腐食状況の様子を示す。既設部側の鉄筋表面は、赤錆を伴う腐食が広範囲に生じており、写真に示す様な孔食を伴う過大な腐食が見られた。一方の補修モルタル側は、鉄筋の表面に黒錆が微少に点在している程度であり、孔食は確認されなかった。

4. まとめ

- 1) はつり量を低減した場合、同一鉄筋において補修モルタル側と既設コンクリート側にて腐食の差が確認され、マクロセル腐食が形成された可能性が考えられた。
- 2) 亜硝酸イオンの拡散により、鉄筋背面における $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ を 1.0 以上とするためには、設計 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ が $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- : 1.0$ では不可能であり、固形分 55kg/m^3 とした場合は可能であった。
- 3) Cl^- 量が 15kg/m^3 の場合には既設部側で腐食が進行しているが、 5kg/m^3 であれば腐食の程度は小さく、未はつり部においても亜硝酸イオンの拡散による防錆効果が期待できた。

謝辞

本研究は極東興和(株)の受託研究の一環で行ったものである。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高谷哲ら：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，pp.1270-1275，2014

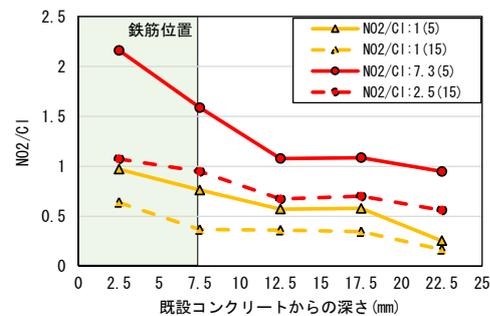


図-4 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ 分布

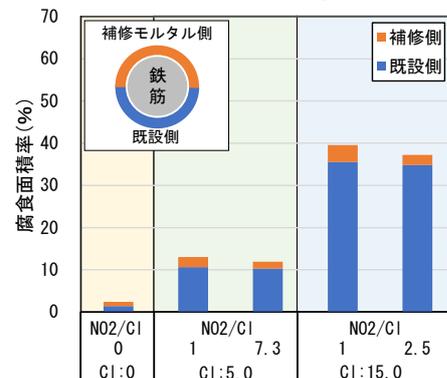


図-5 鉄筋腐食面積率



図-6 腐食重量と腐食面積の関係



写真-1 腐食鉄筋の様子