

各種混和材と亜硝酸リチウムを用いた断面修復材による
マクロセル腐食対策に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○富田苑未 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
極東興和 正会員 江良和徳 IHI インフラ建設 正会員 高木祐介

1. はじめに

RC 構造物の塩害劣化に対する補修工法として断面修復工法が適用される場合が多い。しかし、母材コンクリートに塩化物イオン(Cl^-)が残存した場合や、補修材と母材コンクリートとの電気的性質の違いが顕著な場合に、母材打継ぎ界面付近においてマクロセル腐食による再劣化が起こる可能性が指摘されている。既往の研究によると、断面修復工法で使用する補修材として一般的な PCM に亜硝酸リチウム(LiNO_2)を添加することで、マクロセル腐食の抑制効果が期待できることが明らかになっている。一方で、PCM のように電気的絶縁性が高い材料を用いることで、母材打継ぎ界面部分において、電気的性質が大きく変化するために補修後のマクロセル腐食発生を促す可能性もある。

本研究では、普通モルタルにフライアッシュやシリカフューム、 LiNO_2 を併用添加した各種断面修復材を使用し、マクロセル腐食電流密度や電気化学的鉄筋腐食指標から各種断面補修材による補修効果を検討した。

2. 実験概要 本実験で使用したコンクリートの概要を表-1に示す。母材コンクリートの水セメント比は60%とし、塩害劣化を模擬するため、初期混入 Cl^- 量が 8.0 kg/m^3 となるようにあらかじめ NaCl を練混ぜ水に溶解させて混入した。断面補修に使用する補修材の概要を表-2に示す。FA はフライアッシュを混和した普通モルタルで、SF はシリカフュームを混和した普通モルタルを示す。P は一般的に使用される PCM を用いた配合とする。セメント：ポリマー：細骨材の重量割合を 14：1：29 として配合設計した。FALi、SFLi および PLi は、それぞれ FA、SF、P に LiNO_2 を添加した配合で、40% LiNO_2 溶液を練混ぜ水置換で混入した。添加量は、母材コンクリートの Cl^- 濃度に対して、練混ぜた NO_2^- の70%がコンクリートに浸透して $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ モル比が 1.5 となるように決定した。FA および SF は、セメント質量の15%を内割混和している。

作製した断面修復 RC 供試体は、図-1に示すような母材コンクリートと補修材の打継供試体とした。打継供試体は母材コンクリートと補修材を打ち継いだ角柱の正方形断面中央位置に長さ 400 mm の分割鉄筋を1本埋め込んだ。各鉄筋にリード線が接続されており、鉄筋要素間の流入および流出電流量を測定し電気的には1本とみなせる鉄筋とした。これらの供試体を、養生終了後、促進環境(40℃、95%R.H.)で保管し定期的に電気化学的モニタリング(自然電位、分極抵抗、コンクリート抵抗)とマクロセル腐食電流を測定した。また、 LiNO_2 を混入した配合で図-2のような打継ぎモルタル供試体を作製し、断面修復 RC 供試体と同じ環境で促進期間4ヶ月で保管後に、母材モルタルと補修材を切り離し、母材モルタルの細孔溶液を抽出し、イオンクロマトにより NO_2^- 濃度の測定を行った。

表-1 コンクリートの概要

W/C (%)	s/a (%)	NaCl (kg/m ³)	スランブ (cm)	空気量 (%)	28 日 圧縮強度 (N/mm ²)
60	48	13.2	18	5.3	34.0

表-2 補修材の概要

配合名	W/B (%)	材料	LiNO_2
FA	42	セメント	無
FALi		+FA	有
SF		セメント	無
SFLi		+SF	有
P	PCM	PCM	無
PLi			有

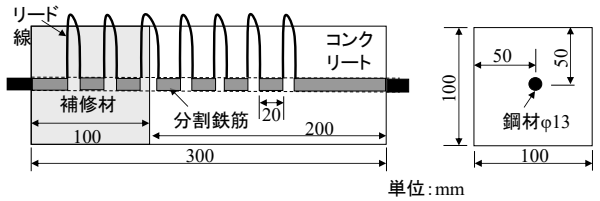


図-1 断面修復 RC 供試体

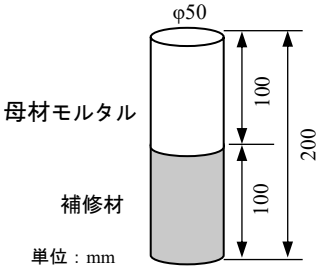


図-2 打継ぎモルタル供試体

3. 分割鉄筋供試体の測定結果

養生終了後に劣化促進環境に 315 日保管した分割鉄筋供試体中の自然電位の分布を図-3 に示す。いずれの配合の場合も補修材側で大きく、母材コンクリート側では初期混入 Cl^- による鉄筋腐食が進行していることがわかる。全体的な傾向として、 LiNO_2 を添加した補修材の場合には、無添加の補修材の場合より高い電位を示しており、 LiNO_2 の供給による鉄筋防食効果が確認できる。しかし、PLi を打ち継いだ供試体において、補修材側とコンクリート側の間に他の配合と比べて大きな電位差が生じている。この電位差により腐食電流回路が形成され、マクロセル腐食電流が促進されることになるが、PLi 配合では、ポリマー成分が電気絶縁性を有していることから、補修材と母材間で電氣的に不連続になり、電位差が大きくなったと考えられる。

図-4 は同様の日数保管した RC 供試体の分極抵抗の分布を示したものである。混和材を含んだ配合や LiNO_2 を添加した配合において抵抗値が高くなっている。特に SFLi を打ち継いだ場合に関して、シリカフェームを混和した補修材は強度が大きく、緻密な細孔構造が形成されているため、補修材側のカソード反応を律速する酸素の供給量が抑制されたものと推定されるが、一方で、コンクリート側の界面付近抵抗値が高くなっている。これは補修材側で細孔溶液中の防せい成分である NO_2^- が濃縮され、母材コンクリート側への濃度拡散が促進され、 NO_2^- の防錆成分の影響によるものだと考えられる。この点については、実際の供試体中における鉄筋腐食状況と併せて、今後さらに詳細な検討を行う予定である。

40℃湿空保管を 315 日間行った打継 RC 供試体について、マクロセル腐食電流密度の供試体中における分布を図-5 に示す。これによると補修材種類に関わらず、打継ぎ界面付近を中心にマクロセルが形成されていると思われる。また、母材コンクリート内部においても比較的大きなマクロセル電流密度が検出されている。この中でも、PLi を打ち継いだ配合において、大きいマクロセル腐食電流が確認され、これは、上述したように、ポリマーが入ることで自然電位において電位差が大きくなったことやカソード反応が促進された事が原因と考えられる。また、他の混和材が入っている補修材においては、マクロセルが形成されているものの $\pm 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度に抑えられているが、保管期間中にセメントや混和材の反応が進行し、電気抵抗が増大したことや LiNO_2 による腐食抑制効果が一因と考えられる。

4. 各種打継ぎモルタル供試体の細孔溶液の NO_2^- 濃度

促進 4 ヶ月の各種打継ぎモルタル供試体の母材モルタルと補修材を切り離し、その母材モルタルの細孔溶液から得られた NO_2^- 濃度の結果を図-6 に示す。 LiNO_2 を添加することによって、補修材側から母材側へ NO_2^- が浸透拡散されていることが確認できた。またモニタリングの結果から考察したように、補修材が SFLi の配合で高い濃度が検出され、緻密な内部構造によって NO_2^- の拡散が促進されたためと考えられる。

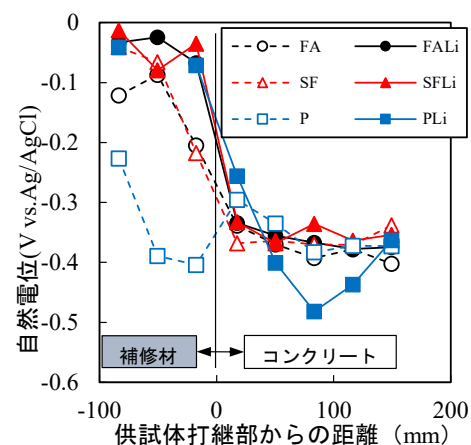


図-3 促進315日の自然電位分布

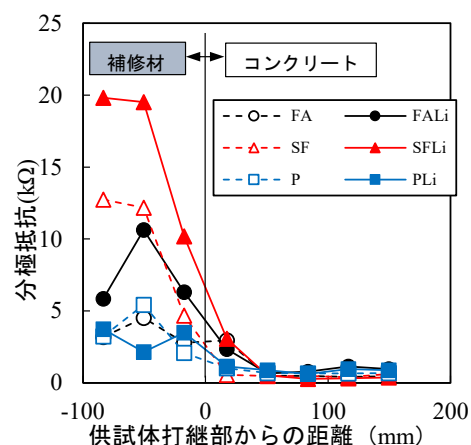


図-4 促進315日の分極抵抗分布

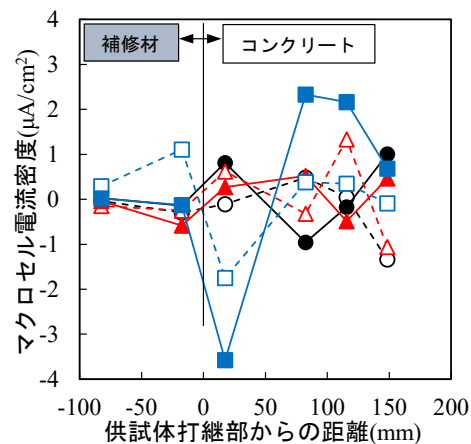


図-5 促進315日のマクロセル電流密度

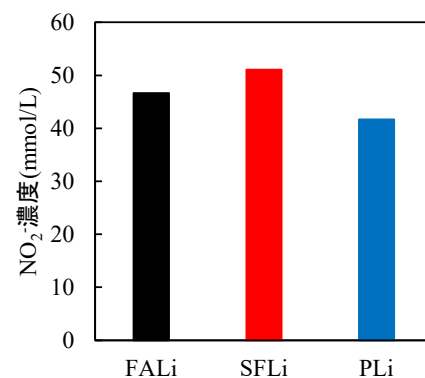


図-6 打継ぎモルタルの細孔溶液中の NO_2^- 濃度