

各種混和材と亜硝酸リチウムを用いた塩害劣化コンクリートの断面修復に関する検討

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、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同時に指摘されている。

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 の丸鋼鉄筋 $\phi 13$ を 1 本配置したものとする。図-1 下段は、分割鉄筋供試体とし、分割鉄筋を埋め込み打継部分周辺のマクロセル電流を測定することとした。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、コンクリートと補修材それぞれの体積抵抗率を測定した。

3. 各種補修材の体積抵抗率

材齢 56 日における各種補修材の体積抵抗率を図-3に示す。体積抵抗率は別途作製した 1 辺 100 mm の立方

表-1 コンクリートの概要

W/C (%)	s/a (%)	NaCl (kg/m ³)	スランプ (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 + FA	無
FALi			有
SF		セメント + SF	無
SFLi			有
P		PCM	無
PLi			有

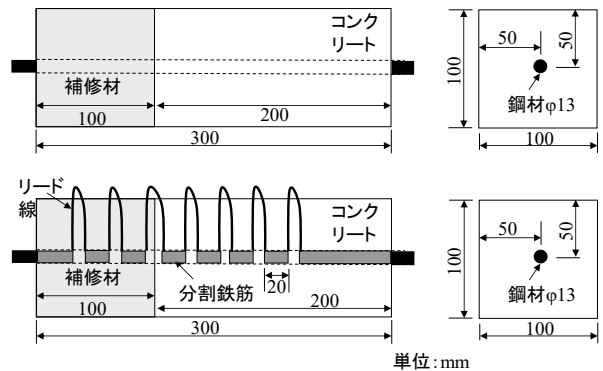


図-1 断面修復 RC 供試体

体供試体を用いて 2 電極法により測定した。これによると、いずれの補修材も母材コンクリートより高い体積抵抗率を示しているが、絶縁性の高いポリマー成分を含有する P, PLi とシリカフュームを混和した SF, SFLi の値が高い。これらの材料は、腐食電流の通過抑制に有利であると言えるが、体積抵抗率が大きくなっているメカニズムが異なると考えられるため、各材料の防食性については、実際の鉄筋腐食状況を確認した上で判断する必要がある。

4. 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 91 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。特に SFLi を打継いだ場合に、コンクリート部分の打継面に近い鉄筋要素の電位が他の場合より高くなっている。これより、SFLi 配合は、他の配合よりも LiNO_2 の母材方向への拡散が大きかった可能性がある。

SFLi を打継いだ場合に関して、シリカフュ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、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、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た可能性もある。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 91 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-4 に示す。図-4 上図に示した促進前の測定結果では、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。これに対して、図-4 下図に示した 91 日間保管時の分布では、全体的にマクロセル腐食電流密度の値は小さくなっている。これは、保管期間中に各種補修材の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が一因と考えられる。また、 LiNO_2 を添加した配合では、補修材から母材コンクリート側に拡散浸透した NO_2^- の効果でアノード反応が抑制されたものと考えられる。特に図-3 で指摘した SFLi を打継いだ供試体の場合には、促進前にはコンクリート内において大きなマクロセル腐食電流が検出されているものの、促進 91 日の時点では、他の場合と比較してマクロセル腐食電流密度が顕著に小さくなっている。

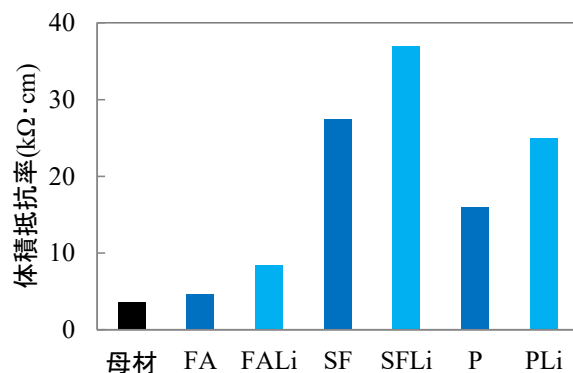


図-2 各種補修材の体積抵抗率

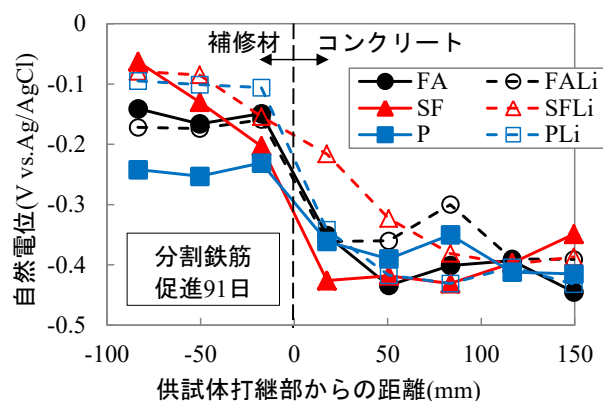


図-3 自然電位分布

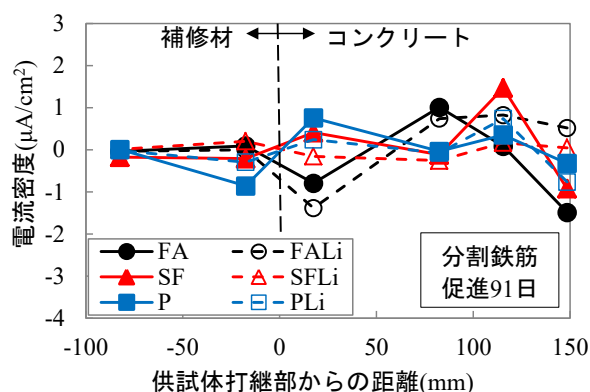
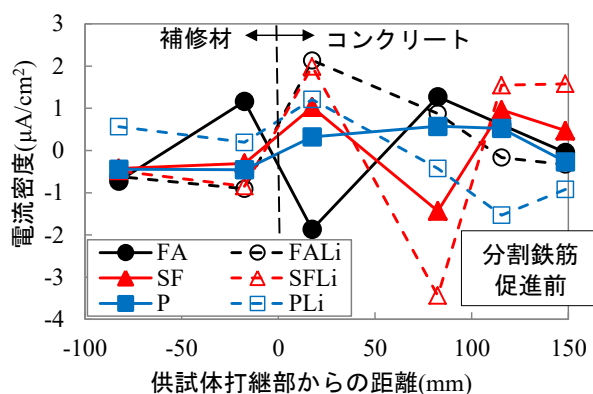


図-4 マクロセル腐食電流分布