

フライアッシュと亜硝酸リチウムを用いた断面修復材による ASR 劣化コンクリートの補修効果

徳島大学大学院
IHI インフラ建設

正会員
正会員

○上田 隆雄
高木 祐介

徳島大学
極東興和

非会員
正会員

島村悠梨乃
江良 和徳

1. はじめに

海洋環境下や凍結防止剤の散布環境下にある RC 構造物は塩害と ASR の複合劣化が起こる可能性がある．この劣化現象に対応できる断面修復材として，亜硝酸リチウム（以下 LiNO_2 と示す）とフライアッシュ（以下 FA と示す）を混和した断面修復材の効果が検討されている． LiNO_2 は NO_2^- による鉄筋防食効果と Li^+ による ASR 劣化コンクリートの膨張抑制効果，FA は母材コンクリートとの電氣的不連続性を緩和することによるマクロセル腐食抑制効果が期待される．この断面修復材を用いた既往の研究では， LiNO_2 と FA を併用することで，鉄筋腐食抑制効果，膨張抑制効果が得られている．本研究では， LiNO_2 の添加量増加，および，補修材の打継深さを変えた場合の補修効果を明らかにすることを目的として実験的検討を実施した．

2. 実験概要

断面修復供試体の作製に用いた母材コンクリートの水セメント比は 60% とし，反応性骨材を用いた．初期 Cl^- 量は 8.0 kg/m^3 となるように NaCl を練混ぜ水に溶解させて混入し， R_2O 量は合計 8.8 kg/m^3 とした．断面修復に使用する補修材の一覧を表 1 に示す．市販の断面修復用 PCM を P とし，P に対して 40% LiNO_2 溶液を練混ぜ水に置換して混入した配合を PLi とした．その際，添加量は母材コンクリートの Cl^- と，練混ぜた LiNO_2 の 70% がコンクリートに均等に浸透した際の $\text{NO}_2^- / \text{Cl}^-$ のモル比が 1.5 となるようにした．さらに PLi に対してセメント質量の 15% で FA を内割混和した配合を PFALi とした．また PLi，PFALi に対して LiNO_2 の添加量を増やし， $\text{NO}_2^- / \text{Cl}^-$ のモル比が 2.5 となるようにしたものを，それぞれ PLi2，PFALi2 とした．これらは，施工上の観点から W/B を 47% としている．本研究で用いた断面修復供試体は図 1 に示すような母材コンクリートに補修材打継いだ RC 供試体とする．補修材は母材コンクリートの打設翌日にワイヤーブラシで打設面の骨材を露出させ，散水した後に打継いだ．各供試体に対する補修材割合の影響を検討するため，かぶり部分のみを修復する断面修復深さ 30 mm と，鉄筋の下部まで修復する断面修復深さ 45 mm の 2 種類を用意した．また，すべての断面修復供試体に長さ変化測定用の真鍮チップを図 1 に示す位置に取り付けた．これらの供試体を促進 ASR 環境（ 40°C ，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）と膨張率（コンクリート側と補修材側）の測定を行った．促進 ASR 環境で 73 日経過後は，一週間ごとに乾燥環境（ 20°C ，60%R.H）と湿潤環境（ 40°C ，95%R.H）との乾湿繰返しとした．

3. 供試体膨張率の経時変化

断面修復深さ 30 mm および 45 mm の供試体におけるコンクリート側（図 1 の下側）の膨張率の経時変化をそれぞれ図 2(a) および(b)に示す．ここで，無補修 RC とは，断面修復を行っていない RC 供試体であり，図 2 によると，補修材種類や断面修復深さによらず，概ね断面修復を行うことによって，無補修 RC よりもコンクリート側の膨張率が抑制されている．この理由として，補修材による物理的膨張拘束効果と，補修材が

表 1 補修材の配合条件

配合名	W/B (%)	P/C (%)	LiNO_2 (kg/m^3)	FA (kg/m^3)
P	42	7.0	—	—
PLi			64	
PLi2	47		106	
PFALi	42		64	92
PFALi2	47		106	

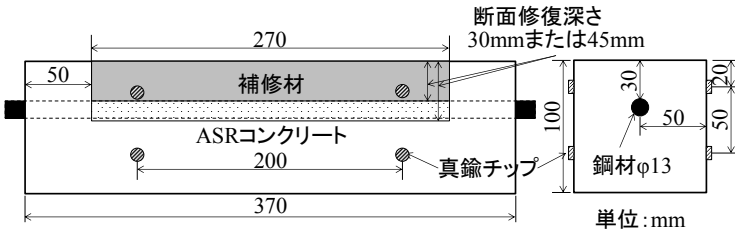


図 1 断面修復供試体概要

キーワード 断面修復工法，塩害，ASR，亜硝酸リチウム，フライアッシュ

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学理工学部社会基盤デザインコース TEL 088-656-2153

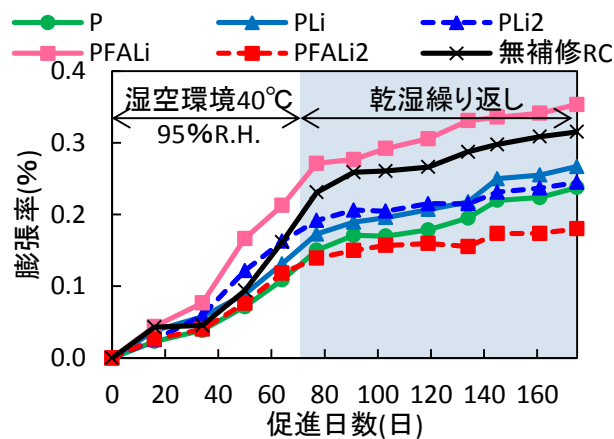
ら母材コンクリートに拡散供給された LiNO_2 による化学的 ASR 膨張抑制効果が考えられる。ただし、断面修復深さ 30 mm で PFALi を用いた場合のみ、無補修 RC よりも大きく膨張している。この供試体は、母材コンクリート側において ASR によるひび割れが顕著に進展していたため、断面修復材の打継ぎ界面部分に収縮等による欠陥が生じ、そこから水分が供給されたものと推察される。

断面修復深さ 45 mm の供試体の場合においても PFALi を打継いだ場合が比較的大きく膨張しているが、断面修復深さ 30 mm の場合よりも全体的に膨張抑制効果は大きい。これは母材コンクリートに対して補修材の占める体積割合が増加したため、物理的拘束効果が増大するとともに、母材コンクリート全体に供給される LiNO_2 濃度も増大したことが原因と考えられる。また LiNO_2 の濃度が高い補修材の方が膨張抑制効果は高くなっている。

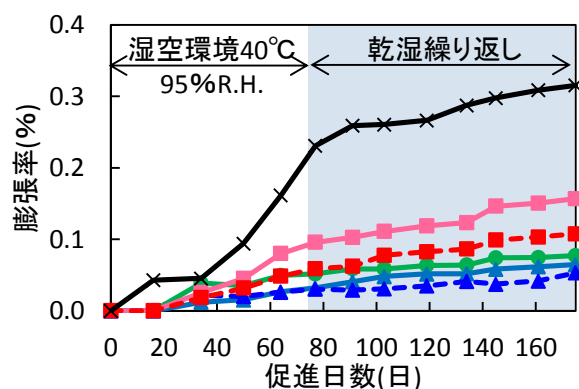
4. 供試体中の鉄筋腐食評価指標

養生終了後の劣化促進期間 145 日の時点における断面修復供試体内の鉄筋自然電位分布を図-3(a)および(b)に示す。母材コンクリートの初期混入 Cl^- 量は 8.0 kg/m^3 であるため、すべての供試体で断面修復部分の両端コンクリート部分における鉄筋の自然電位は、ASTM C876-91 の判定基準の腐食領域 ($E < -0.23 \text{ V vs Ag/AgCl}$) の値を示している。これに対して、断面修復部の自然電位はコンクリート部よりも貴な値を示しており、断面修復部における防食効果は認められるが、母材コンクリートとの打継ぎ界面部分において電位差が生じているためマクロセル腐食進展のおそれがある。

補修材種類に関しては、 LiNO_2 と FA を併用した補修材を用いた場合に全体的に貴な電位を示す傾向にある。これは、 LiNO_2 の供給による鉄筋防錆効果だけでなく、FA のポゾラン反応が進行することで補修材の電気抵抗が大きくなり、鉄筋腐食電流が流れにくい環境が形成されたものと推定される。さらに LiNO_2 の添加量を増やしたことにより、全体的に自然電位の値が貴変する傾向を示すとともに、補修材と母材コンクリートの界面部分における電位差が小さくなっている場合が多い。これは補修材中の LiNO_2 の濃度を高くすることで母材コンクリート側への NO_2^- の拡散が促進され、マクロセル腐食の進行抑制により寄与したものと推定される。なお、図-2 では、断面修復深さ 30 mm の場合に比較的大きな ASR 膨張が示されているが、図-3 によると断面修復深さが鉄筋防食効果に与える影響は比較的小さく、むしろ断面修復深さが小さい場合の方が高い電位を示している場合も見られる。この理由として、ASR が進行することで、鉄筋周辺に生成した ASR ゲルが防食効果を発揮した可能性もある。

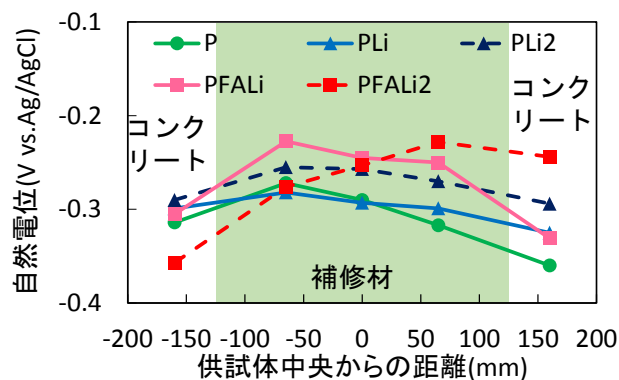


(a) 断面修復深さ 30 mm

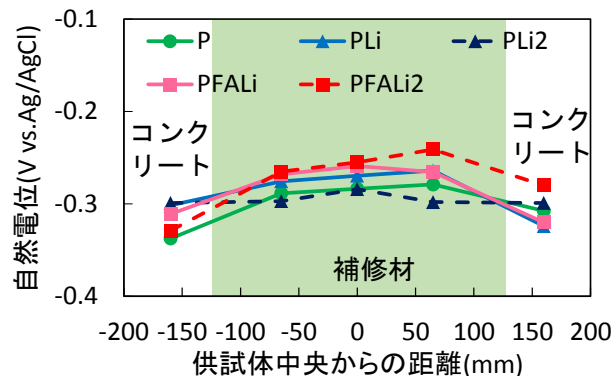


(b) 断面修復深さ 45 mm

図-2 コンクリート側の膨張率の経時変化



(a) 断面修復深さ 30 mm



(b) 断面修復深さ 45 mm

図-3 供試体中自然電位分布(促進 145 日)