

第V部門 亜硝酸リチウムを用いたグラウト充てん不足部のPC鋼線への補修におけるマクロセル腐食の検討

神戸大学工学部 学生会員 ○本田 悠馬
神戸大学大学院 学生会員 福田 圭祐

神戸大学大学院 正会員 森川 英典
(株)ピーエス三菱 正会員 鴨谷 知繁

1. はじめに：近年，凍結防止剤使用環境下に位置し，グラウト充てん不足部を有するポストテンション方式の既設PC道路橋において，PC鋼線の腐食が発生している．著者らは，塩化物イオン(以下，Cl⁻)が存在する環境下でもPC鋼線の腐食を抑制することが期待できる亜硝酸リチウム(以下，LiNO₂)に着目したグラウト充てん不足部のPC鋼線への補修を検討してきた(例えば¹⁾．既報²⁾において，グラウト充てん不足部へLiNO₂水溶液を注入することで，従来法のグラウト再注入工と比較して，補修部のPC鋼線がカソード分極しやすくなり，補修部と既設部間で生じる既設部をアノードとしたマクロセル腐食を抑制することが確認された．しかし，既報では，既設部のPC鋼線の腐食程度やグラウトのCl⁻濃度といった劣化状況が要因として考慮されていない．そこで，本研究では，既設部の劣化状況を考慮したLiNO₂を用いた補修方法のマクロセル腐食抑制効果について検討を行った．

2. 実験概要：まず，補修部と既設部を模擬した試験体を別々に作製した．試験体概要図を図-1に示す．試験片は，Φ7mmPC鋼線を1時間/日，3% NaCl水溶液に浸せきさせた後に，35°C，80%R.Hに設定した養生箱の中に入れるというサイクルを後述する期間繰り返すことで促進腐食させたものを使用した．試験片をΦ50*100mmの型枠の中心部に設置し，チタングリッド陽極を試験片から10mmの位置に設置して，補修材もしくはグラウトを打設した．打設後，試験体を材齢14日まで封かん養生とした．

試験要因は表-1に示す．試験要因は，既設部の試験片の腐食期間とグラウトのCl⁻濃度と補修部の補修方法とした．なお，補修部の試験片の腐食期間はすべて2カ月とした．補修部の補修方法は，グラウト再充てん(以下，NG補修)，LiNO₂添加補修材再充てん(以下，LNG補修)，LiNO₂水溶液浸せき後，グラウト再充てん(以下，LNW-NG補修)，もしくはLiNO₂添加補修材再充てん(以下，LNW-LNG補修)，実施工におけるLiNO₂水溶液の注入方法の一つである，真空ポンプを用いて，シーす内を断続的に減圧を行うエアリフト方式¹⁾を模擬したLiNO₂水溶液浸せき後，グラウト再充てん(以下，LNWA-NG補修)，もしくはLiNO₂添加補修材再充てん(以下，LNWA-LNG補修)の6種類とした．なお，LNW補修の試験体は，補修材打設前に試験片を40%LiNO₂水溶液に24時間浸せきさせた．LNWA補修の試験体は，試験片をデキャンタ内で40%LiNO₂水溶液に15分間浸せきさせ，その後，真空ポンプを用いて30分間デキャンタ内を断続的に減圧した．30分後，減圧を中止し，浸せき開始24時間後までLiNO₂水溶液に浸せきさせた．補修部の補修材は，実施工で使用される高炉セメント系プレミックスタイプの補修材を使用し，一方，既設部のグラウトは，普通セメント系のグラウトを使用した．補修材と既設部のグラウトの配合を表-2に示す．なお，実施工と異なり，補修材へのLiNO₂添加の有無に関わらず，W/Bは一定とした．

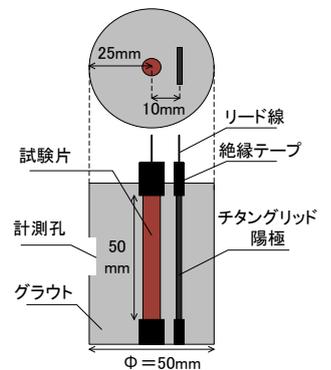


図-1 試験体概要図

表-1 試験要因

	試験体名	試験片の腐食期間	グラウトへのCl ⁻ の添加量	試験体数 N
既設部	N0	無	0kg/m ³	N=1
	L4	1ヶ月	4kg/m ³	N=1
	H12	2ヶ月	12kg/m ³	N=1

	補修方法 (試験体名)	LiNO ₂ 水溶液への浸せき	LiNO ₂ 水溶液浸せき時の真空ポンプの使用	補修材へのLiNO ₂ の添加	試験体数 N
補修部	NG	無	無	無	N=3
	LNG	無	無	有 (NO ₂ ⁻ 50kg/m ³)	N=3
	LNW-NG	有 (NO ₂ ⁻ 35%濃度)	無	無	N=3
	LNW-LNG	有 (NO ₂ ⁻ 35%濃度)	無	有 (NO ₂ ⁻ 50kg/m ³)	N=3
	LNWA-NG	有 (NO ₂ ⁻ 35%濃度)	有	無	N=3
	LNWA-LNG	有 (NO ₂ ⁻ 35%濃度)	有	有 (NO ₂ ⁻ 50kg/m ³)	N=3

表-2 補修材，既設部グラウトの配合

	補修材				W/B ² (%)	既設部のグラウト					W/C (%)
	単位量 (kg/m ³)			LiNO ₂ 水溶液		試験体名	単位量 (kg/m ³)				
	W	B ^{*1}					W	C	AE減水剤	アルミ粉	Cl ⁻
NG	577	1538	0	37.5	N0					0	42
LNG	489	1538	147		L4	568	1351	3.38	0.068	4	
				H12					12		

*1 プレミックスタイプのため，Bを使用
*2 LiNO₂水溶液中の水量も考慮

測定項目は、マクロセル腐食電流と補修部のカソード分極曲線とした。マクロセル腐食電流は図-2に示すように、補修部試験体と既設部試験体の間に水を含ませたスポンジで挟んで輪ゴムで固定し、飽和カロメル照合電極と直流電圧計を用いて両試験片の自然電位を測定した。次に無抵抗電流計を両試験片に接続し電氣的に一体化させ、両試験片に流れるマクロセル腐食電流を測定した。補修部のカソード分極曲線は、掃引速度約1mV/sとし強制的に電位を卑に移行させたときに流れる電流値とインスタントオフ電位を記録した。

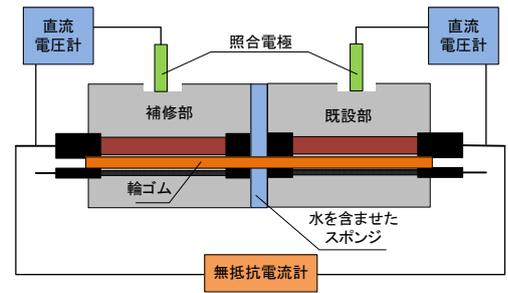


図-2 マクロセル腐食電流測定概要図

3. 実験結果および考察： 無抵抗電流計接続前の補修部と既設部の電位差とマクロセル腐食電流密度の関係を図-3に示す。既設部試験体の腐食程度とグラウトのCI濃度が大きくなると、発生するマクロセル腐食電流密度の絶対値が増加する傾向が見られ、特に、既設部に H12 試験体を接続した場合、発生するマクロセル腐食電流密度の絶対値が著しく増加した。そこで、最もマクロセル腐食電流が発生しやすい条件と想定される、既設部に H12 試験体を接続した場合のマクロセル腐食電流測定結果に着目し、以下、各補修方法のマクロセル腐食抑制効果について比較する。

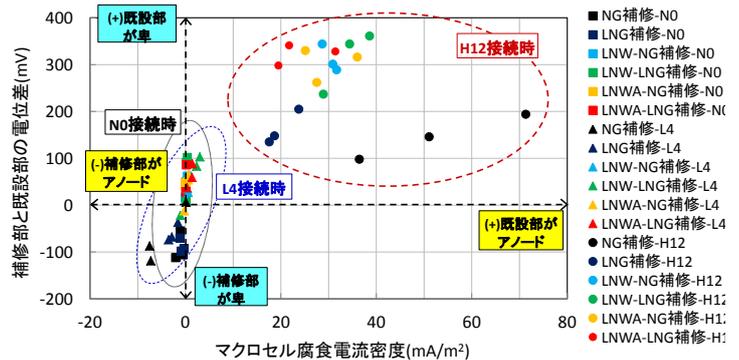


図-3 無抵抗電流計接続前の補修部と既設部の電位差とマクロセル腐食電流密度の関係

NG 補修試験体接続時と LNG 補修試験体接続時では、無抵抗電流計接続前の補修部と既設部の電位差は同程度であるが、LNG 補修試験体接続時の方が、マクロセル腐食電流密度は低減された。そして、LNW 補修や LNWA 補修部試験体接続時では、NG 補修試験体接続時に比べて、無抵抗電流計接続前の補修部と既設部の電位差は大きい、マクロセル腐食電流密度は低減される傾向にあった。

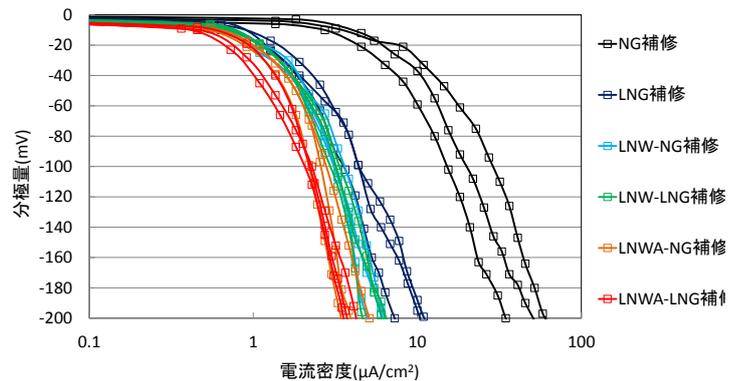


図-4 補修部のカソード分極曲線測定結果

さらに、LNW 補修接続時に比べて、LNWA 補修試験体接続時の方が、マクロセル腐食電流密度は低減される傾向にあった。補修部のカソード分極曲線測定結果を図-4に示す。NG 補修試験体に比べて、LNG 補修試験体の方がカソード分極しやすい傾向にあった。これにより、NG 補修試験体接続時に比べて、LNG 補修試験体接続時では、マクロセル腐食電流密度が低減されたと考えられる。そして、LNG 補修試験体に比べて、LNW 補修試験体と LNWA 補修試験体の方がカソード分極しやすい傾向にあった。以上より、NG 補修試験体接続時に比べて、LNW 補修試験体接続時と LNWA 補修試験体接続時の方が、補修部と既設部の電位差は大きいものの、カソード分極しやすい傾向にあったことが大きく影響し、マクロセル腐食電流密度が低減される傾向にあったと考えられる。また、LNW 補修試験体に比べて、LNWA 補修試験体の方がカソード分極しやすい傾向にあった。これにより、LNW 補修試験体接続時に比べて、LNWA 補修試験体接続時の方が、マクロセル腐食電流密度が低減される傾向にあったと考えられる。

参考文献： 1) 鴨谷，青山，石井，森川：LiNO₂を用いた PC グラウト再充てんの施工方法に関する提案—実施工を指して—，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第12巻，pp.249-256, 2012。
2) 福田，森川，鴨谷：亜硝酸リチウム水溶液を用いたグラウト充てん不足部の PC 鋼線への補修におけるカソード分極特性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 35, NO.1, pp1069-1074, 2013。