

神戸大学大学院 学生会員 〇福田 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，ポストテンション方式の PC 橋において， PC グラウトの充てん不足が確認されている．さらに，凍結防止剤使用環境下に位置する橋梁においては， PC 鋼材の腐食が確認されている¹⁾．著者らは，塩化物イオンが存在する環境下でも PC 鋼材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， LiNO_2 ）に着目したグラウト充てん不足部の PC 鋼線への補修方法を検討してきた²⁾．既報では，グラウト再注入前に LiNO_2 水溶液を注入することによって，従来法であるグラウト再注入と比較して，補修部と既設 PC グラウト部（以下，既設部）の間で生じるマクロセル腐食電流が低減されることを報告した．しかし， LiNO_2 水溶液の注入によるマクロセル腐食抑制機構までは十分に明らかにはなっていない．本研究では LiNO_2 水溶液の注入によるマクロセル腐食抑制機構を明らかにするための基礎的な検討として， LiNO_2 水溶液の注入の有無が補修部のカソード分極特性に与える影響について検討した．

2. 実験概要：まず， LiNO_2 水溶液の注入の有無を考慮した補修部を模擬した試験体を作製した．さらに，アノード分極曲線を得ることを目的として，別途，既設部を模擬した試験体を作製した．試験体の概要図を図-1 に示す．試験片には， $\Phi 7\text{mm}$ PC 鋼線を 1 時間/日，3%濃度 NaCl 水溶液に浸せきさせた後に，高温多湿環境に設定した養生箱の中に入れるサイクルを約 3 カ月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 $\Phi 50 \times 100\text{mm}$ の型枠の中心部に設置し，分極抵抗測定用のチタングリッド陽極を試験片から 10mm の位置に設置して，グラウトを打設した．グラウト打設後，試験体を材齢 1 ヶ月間まで封かん養生とし，その後，試験片とチタングリッド陽極に電気化学測定用のリード線を接続した．

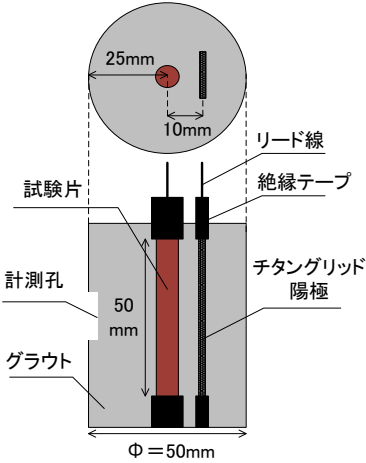


図-1 試験体概要図

試験要因は表-1 に示すように，補修部の LiNO_2 水溶液の注入の有無であり，前者を LN-W・Nor-G 補修，後者を Nor-G 補修と称す．なお LN-W・Nor-G 補修の試験体は，グラウト打設前に試験片を LiNO_2 水溶液(NO_2^- 35%濃度)に 4 日間浸せきさせた．補修部のグラウト材は，施工において，可使時間が長く，小間隙への優れた充てん性が求められるため，このような性能を有する高炉セメント系グラウトを補修部に使用した．一方，既設部のグラウト材は，普通セメント系のグラウトを使用した．補修部と既設部のグラウトの配合を表-2 に示す通りである．

分極抵抗，アノード・カソード分極曲線の測定概要を図-2 に示す．照合電極には，写真-1 に示す飽和カロメル照合電極を用いた．分極抵抗は，直流分極抵抗法により測定し，自然電位の安定後に掃引速度が 5～10mV/min となるように電流値を選定し，通電・1 分間保持の後のインスタントオフ電位を計測し，電流と電位の関係を直線回帰して算出した．補修部のカソード分極曲線は，掃引速度約 1mV/s とし強制的に卑に移行させ，一方既設部のアノード分極曲線は，掃引速度約 1mV/s とし強制的に卑に移行させ，そのときに流れる電流値とインスタントオフ電位をそれぞれ記録した．

表-1 試験要因

	補修方法	LiNO_2 水溶液への浸せき	グラウト	試験体数N
補修部	Nor-G	無	高炉セメント系	N=3
	LN-W・Nor-G	有 (NO_2^- 35%濃度)		N=3
既設部	Nor-G	無	普通セメント系	N=1

表-2 グラウト配合表

(a) 補修部(高炉セメント系)

配合	W (kg)	B (kg)	W/B (%)
高炉セメント系	6.25	20	31.3

(b) 既設部(普通セメント系)

配合	W (kg)	C (kg)	混和材 (kg)	W/B (%)
普通セメント系	5.63	12.5	0.125	45

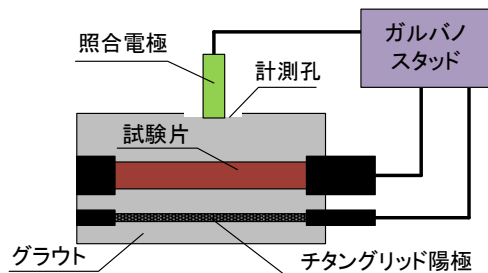


図-2 分極抵抗，分極曲線測定概要図

3. 実験結果および考察：各試験体の分極抵抗測定結果を図-3 に示す。Nor-G 補修試験体と LN-W・Nor-G 補修試験体を比較すると、既報²⁾と同様に、 LiNO_2 水溶液を注入することで、分極抵抗が増大する傾向が見られる。CEB の不動態状態判定の閾値である $130\text{k}\Omega\text{cm}^2$ を基準に考察すると、LN-W・Nor-G 補修試験体では不動態、Nor-G 補修試験体では不動態状態ではないと判定される。

次に、縦軸を分極量とした補修部のカソード分極曲線の測定結果を図-4 に示す。LN-W・Nor-G 補修試験体は、Nor-G 補修試験体と比べて、カソード分極が増大する傾向が見られる。カソード分極は水溶液中であれば溶存酸素濃度が低いほど、またコンクリート中であればコンクリートの酸素拡散係数が小さいほど増大する傾向にあること³⁾から、 LiNO_2 水溶液を注入することで、PC 鋼線に不動態皮膜が形成され、PC 鋼線表面の酸素供給量が減少した可能性が考えられ、それによりカソード分極が増大したと推察される。

縦軸を電位とした補修部のカソード分極曲線、既設部のアノード分極曲線の測定結果を図-5 に示す。LN-W・Nor-G 補修試験体の自然電位が Nor-G 補修試験体に比べて、貴な傾向にあるものの、アノード・カソード分極曲線の交点の電流(IR ドロップを無視した場合のマクロセル腐食電流)は LN-W・Nor-G 補修試験体の方が小さくなっている。これは、

Nor-G 補修試験体と比べて、LN-W・Nor-G 補修試験体においてカソード分極が増大したことが要因と考えられる。以上より、補修部のカソード分極増大が LiNO_2 水溶液の注入によるマクロセル腐食抑制の一要因として考えられる。

参考文献：1) 白川祐太，森川英典，鴨谷知繁：PCT 橋のグラウト充填不良部における鋼線腐食メカニズムに関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.2，pp.493-498，2011

2) 鴨谷知繁，青山敏幸，石井浩司，森川英典：凍結防止剤が侵入したグラウト充てん不良部の PC 鋼材腐食に対する亜硝酸リチウムを用いた補修の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1006-1011，2012

3) 山口明伸，Juegen Warkus，Michael Raupach：マクロセル腐食に寄与するカソード反応領域に関する一考察，土木学会第 62 年次学術講演会講演概要集，V-531，pp.1061-1062，2007



写真-1 飽和カロメル照合電極

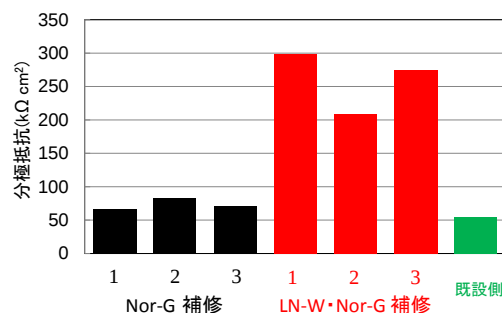


図-3 分極抵抗測定結果

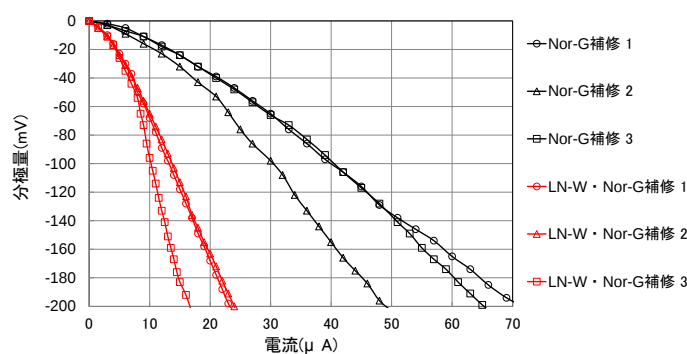


図-4 カソード分極曲線測定結果

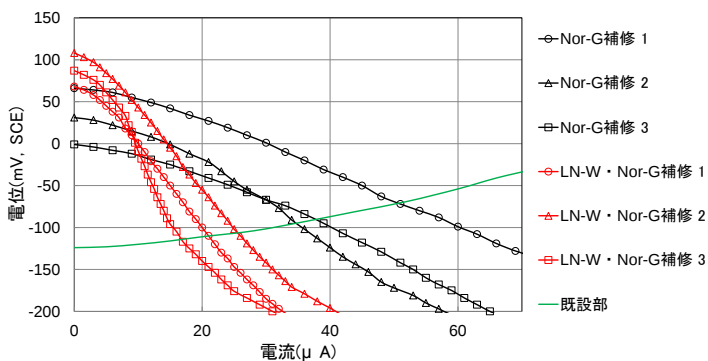


図-5 アノード・カソード分極曲線測定結果