

PC グラウト充てん不足部補修「リパッシブ工法」の腐食抑制効果

技術本部
技術本部

技術部
技術部

鴨谷知繁
青山敏幸

1. はじめに

近年、ポストテンション方式の既設 PC 橋におけるグラウト充てん不足部に、凍結防止剤に含まれる Cl^- が侵入し、構造安全性を確保する上で重要な PC 鋼材において著しい腐食(写真-1)や破断が報告されている。このようにして腐食した PC 鋼材は、表面の錆層に多量の Cl^- が含まれるため、従来のグラウト再注入工法では、十分な補修効果を得ることができない可能性がある。そこで、このような鋼材においても耐久性を確保することを目的に、亜硝酸リチウム(以下、 LiNO_2 と記す)水溶液の注入と LiNO_2 を添加した補修材の充てんによる新しい補修工法「リパッシブ工法」を開発した。本稿では、塩水噴霧により腐食させた鋼材を対象にリパッシブ工法の腐食抑制効果を実験的に検討した結果を報告する。



写真-1 既設 PCT 桁橋の主ケーブルに生じた著しい腐食

2. 試験概要

試験片は、PC 鋼材の代わりに直径 13mm のみがき丸鋼とし、5%の NaCl 水溶液の 1 日 2 回の散布を 2 ヶ月間行うことにより腐食させた。試験片の腐食状況を写真-2 に示す。腐食量は 3 本の平均値で $43.4\text{mg}/\text{cm}^2$ であった。

試験はシリーズ I とシリーズ II に分けて行った。シリーズ I では試験片を飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液、6.5%、13.0%および 40.0%の濃度の異なる LiNO_2 水溶液に浸せきし、各試験片の電位の経時変化を照合電極と電圧計を用いて測定した。

シリーズ II では図-1 に示す試験体を作製した。試験片の両端は塩化ビニル管を設置して腐食から保護し、試験片の一端には電気化学的測定用のリード線を設置した。シースは塩化ビニル管を使用し、かぶりが 10mm となるように試験片をシース内に設置した。電気化学的測定を行うための対極を試験体内に設置するとともに、塩化ビニル管に試験片の電位を計測するための計測孔を設けた。試験要因は表-1 のように従来のグラウト再注入工法(以下、Nor-G 補修)、 LiNO_2 を添加した補修材による補修(以下、LN-G 補修)および LiNO_2 水溶液への浸せきと LiNO_2 を添加した補修材による補修(以下、リパッシブ工法補修)とし、LN-G 補修については補修材への NO_2^- 添加量を $6\sim 15\text{kg}/\text{m}^3$ の 3 水準とした。シース内を充てんする補修材は、早強ポルトランドセメントと高粘性グラウト混和剤を使用したグラウト材とし、水セメント比は 45%とした。

各補修方法の腐食抑制効果を確認することを目的に、試験体製作後約 60 日から気温約 30°C 、相対湿度約 80%の養生槽において 9 ヶ月の腐食促進試験を行い、試験片の分極抵抗を定期的に測定した。分極抵抗は掃引速度を $5\sim 10\text{mV}/\text{min}$ とした直流分極抵抗法により計測した。そして腐食促進試験終

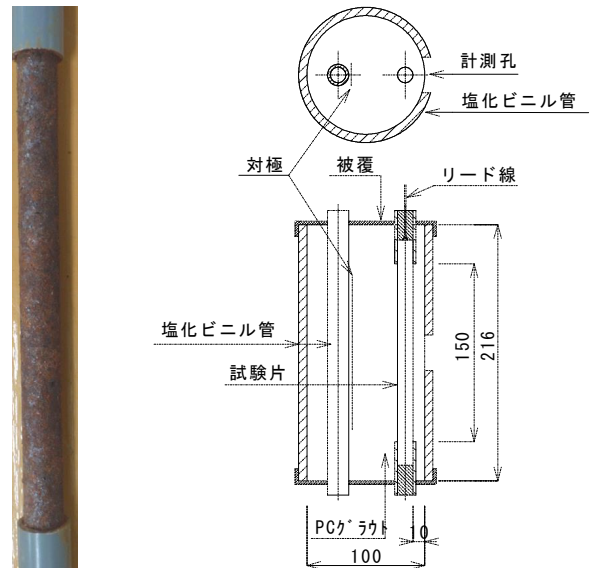


写真-2 試験片の腐食状況 図-1 試験体の概要図

表-1 シリーズ II 試験要因

| No. | 補修の方法 ※) | | 備考 |
|------|--|-----------------------------|-----------|
| | ① LiNO_2 水溶液浸せき (NO_2^- 濃度-時間) | ②補修材 NO_2^- 添加量 | |
| sp-1 | 無 | $0\text{kg}/\text{m}^3$ | Nor-G補修 |
| sp-2 | 無 | $6\text{kg}/\text{m}^3$ | LN-G補修 |
| sp-3 | 無 | $9\text{kg}/\text{m}^3$ | LN-G補修 |
| sp-4 | 無 | $15\text{kg}/\text{m}^3$ | LN-G補修 |
| sp-5 | 6.5%-4日 | $9\text{kg}/\text{m}^3$ | リパッシブ工法補修 |

※) 補修は①→②の順で行った

了後、試験体を解体し、試験片の除錆を行い腐食減量の測定を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 LiNO_2 水溶液中における試験片の電位変化

各水溶液中における試験片の電位の経時変化を図-2 に示す。飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液に浸せきした場合には、鋼材電位は

-400mV(SCE)から徐々に卑に移行し-600mV(SCE)に達した。一方、LiNO₂水溶液に浸せきした場合には、電位は経時的に貴に移行し、-100~-250mV(SCE)程度となった。炭素鋼の鍍層はミクロ的に欠陥を多く含む緻密性の低い組織であり、試験片をLiNO₂水溶液に浸せきした場合には、NO₂⁻が鍍層に侵入し、鍍層に存在するCl⁻とNO₂⁻との比率が1.25以下となったため鋼材が不動態化したと推察される。LiNO₂水溶液の濃度が高いほど、この貴に移行する速度が大きい傾向にあるが、これはLiNO₂濃度が高いほど、早期に多くのNO₂⁻が鍍層に侵入するためと考えられる。

3.2 各試験体の分極抵抗

図-3に各試験体の分極抵抗の経時変化を示す。Nor-G補修のsp-1は、分極抵抗が増加傾向にあり180日以降ではCEB(Comité Euro-International du Béton)で示される腐食速度の判定基準において不動態状態と判定される130kΩcm²上回っているものの、それ以前は上述の判定基準を常時下回っており腐食状態と推察された。試験片には腐食過程でNaCl水溶液が散布されており、鍍層内にCl⁻が含まれていると推察されるため、鍍層内のCl⁻量がある値以上の場合には、Nor-G補修による腐食抑制効果が期待できない可能性がある。

LN-G補修のsp-2~sp-4はいずれも全期間に渡り、上述の不動態状態と判定される基準130kΩcm²を下回っており、試験片を再不動態化させるには至っていない。これは、補修材に添加されたNO₂⁻は鍍層に侵入しにくく、腐食抑制効果を得るのに十分な量のNO₂⁻が鍍中に侵入しなかったためと考えられる。LN-G補修の各試験体の分極抵抗がNor-G補修のsp-1と比較して低下した理由については今後の課題であるが、この結果はLN-G補修のように補修材へのNO₂⁻の添加だけでは逆効果になる可能性を示すものであり、注意を要する。

一方、リパッシブ工法補修のsp-5は試験開始直後から常時130kΩcm²を上回っており良好な不動態状態と判断され、リパッシブ工法による補修は、既往のNor-G補修と比較して腐食抑制効果が高いものと考えられる。また、上述のようにsp-2~sp-4の腐食抑制効果がsp-1を下回ったことを考慮すると、腐食したPC鋼材において良好な腐食抑制効果を得るためにはLiNO₂水溶液への浸せきの手順が必要と考えられる。

3.3 各試験体の腐食量

図-4に各試験体を解体した後に測定した試験片の腐食減量を示す。腐食減量は試験体製作から解体までの期間に生じた分のみとした。リパッシブ工法補修のsp-5はNor-G補修のsp-1より腐食減量が小さい一方、LN-G補修のsp-2~sp-4の腐食減量はsp-1より大きくなった。この結果は、分極抵抗の逆数により算出した腐食減量の推定値とも、sp-4を除き、おおむね一致した。このように試験片の腐食減量を測定した結果からもリパッシブ工法の高い腐食抑制効果が確認された。

4. まとめ

グラウト充てん不足部へのCl⁻の侵入によるPC鋼材の腐食を模擬した試験体を用いて、その補修方法を検討した。

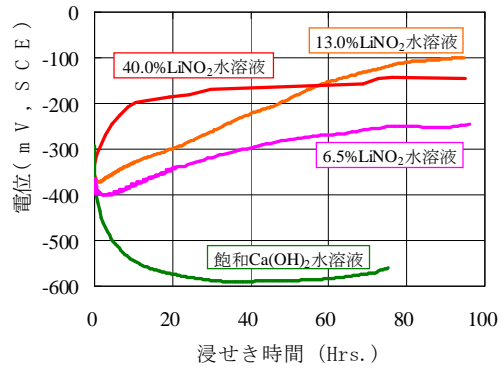


図-2 各水溶液中における試験片の電位変化

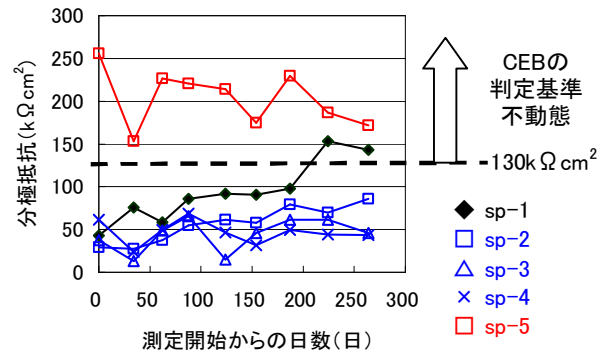


図-3 分極抵抗測定結果

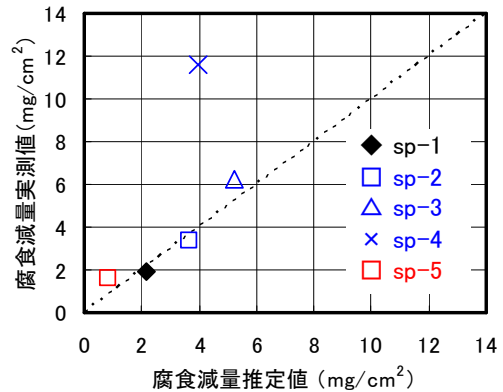


図-4 腐食減量の測定結果

LiNO₂水溶液へ浸せきした場合の試験片の電位変化や、9ヶ月に渡る促進腐食試験中の分極抵抗の測定結果および試験終了後の腐食減量の測定結果により、LiNO₂水溶液への浸せきとLiNO₂を添加した補修材の充てんを行うリパッシブ工法の腐食抑制効果が高いと判断された。

Key Words : 凍結防止剤, グラウト充てん不足, 補修, 亜硝酸リチウム



鴨谷 知繁



青山 敏幸