

塩害劣化を受けた構造物への亜硝酸リチウム圧入による防錆効果に関する基礎的研究

福岡大学 学生会員○児島あかり 福岡大学大学院 学生会員 山田正健 福岡大学 正会員 樋原弘貴
福岡大学 正会員 村上哲 福岡大学大学院 正会員 添田政司 (株)極東興和 正会員 江良和徳

1. はじめに

近年、鉄筋防錆効果に優れる亜硝酸リチウムを用いた補修工法が注目されている。一方で、塩害によるコンクリート構造物の劣化は、顕在化しており、その抑制対策として亜硝酸リチウムを高圧注入して鉄筋に供給する取り組みが進められている¹⁾。しかし、圧入工法における亜硝酸リチウムの防錆効果に関する知見が少なく、さらに塩害劣化の進行状況によっても、その効果は大きく異なると考えられる。そこで本研究は、進行状況が異なる塩害劣化を模擬した供試体を用いて、実際に亜硝酸リチウムの圧入を行った。その後、コンクリートへの亜硝酸の浸透状況や注入後の鉄筋の腐食抑制効果を自然電位法や分極抵抗法によって評価した。

2. 実験概要

供試体は、普通セメントを用いて水セメント 55%で 150×150×150mm の亜硝酸リチウム圧入用供試体ならびに 100×100×150mm の非圧入供試体の 2 種類を作製した。いずれの供試体もかぶり 40mm の位置に $\phi 10 \times 130\text{mm}$ の磨き丸鋼鉄筋を 2 本、および同形状のステンレス

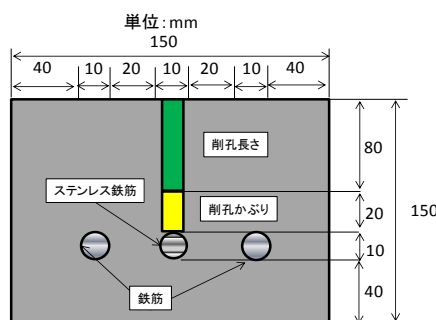


図-1 亜硝酸リチウム圧入供試体



写真-1 圧入状況

鉄筋 1 本を埋設した。なお、塩害劣化の進展状況を模擬するために、供試体には、予め $\text{Cl}^-: 5.0\text{kg/m}^3$ を内在させて、さらに埋設した鉄筋には、腐食なし鉄筋 (G0) および腐食程度が異なる腐食鉄筋 (G1, G2) を用いた。

脱型後は、28 日間の気中養生を行い、その後 67 日目から図-1 に示すように供試体の中央部を 80mm 削孔して、0.3～0.5MPa にて亜硝酸リチウムを最大 7 日間かけて圧入を行った。注入の状況を写真-1 に示す。圧入量は、内在 Cl^- 量 5kg/m^3 に対して、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ が 1.0, 2.0 になる様に設定した。圧入後は、温度 20°C 、湿度 90% の湿潤環境に静置させながら自然電位ならびに分極抵抗の測定を行った。試験開始から 190 日目には、供試体を解体して TDI 試薬による呈色状況およびイオンクロマトグラフによる NO_2^- の測定によって浸透状況ならびに鉄筋の腐食状況を目視により確認した。

3. 結果及び考察

図-2 は、一例として亜硝酸リチウム圧入($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-: 2.0$)および非圧入供試体における自然電位の経時変化を示す。凡例における G0～3 および M2 は、埋設鉄筋の腐食グレードおよび $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ を表している。この結果、非圧入供試体 (M0 シリーズ) の自然電位は、腐食グレードに関わらず、いずれもが 67 日以降から低下しているのに対し、圧入した供試体は、いずれもが圧入前よりも貴化する傾向を示し、その後も安定していた。また、圧入供試体における自然電位は、腐食グレードによる明確な違いは確認されなかった。いずれの腐食グレードに

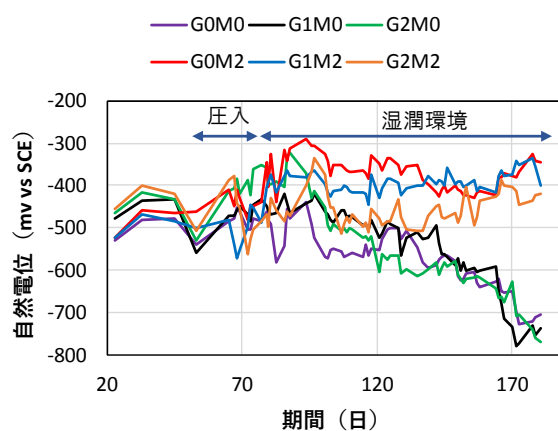


図-2 自然電位測定結果

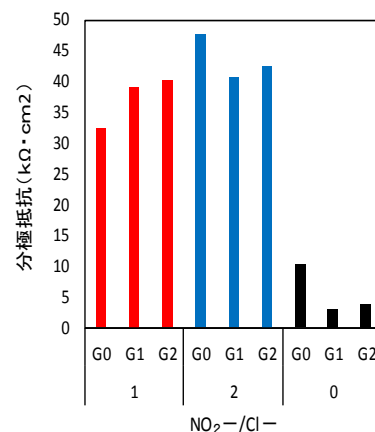


図-3 分極抵抗測定結果

においても NO_2^- が Fe^{2+} と十分に反応できたことでより強固な不動態が形成されたと考えられる²⁾。この傾向は、M1 シリーズ($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-:1.0$)においても同様であった。

図-3 は、解体前における各種供試体の分極抵抗の測定結果を示す。この結果、亜硝酸リチウムを圧入した供試体の分極抵抗は、いずれも非圧入供試体よりも高くなっていることが確認できた。非圧入供試体の分極抵抗は、 $20\text{k}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 以下であることから、いずれもが厳しい腐食環境であると想定されるのに対し、一方の圧入供試体は、鉄筋腐食グレードに関わらず、いずれもが $30\text{k}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 以上を示している。圧入量の違いでは、圧入量が多いものほど分極抵抗も高くなる結果となった。

図-4 には、一例として $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-:2.0$ における TDI 試薬を塗布して呈色状況により NO_2^- の浸透を確認したものを示す。 NO_2^- は、いずれの供試体においても圧入孔から 10cm の範囲には確実に浸透していることを確認できた。さらに、図-5 に示す各鉄筋位置における NO_2^- 量では、測定箇所ごとで若干のバラツキは見られるが、少なくとも鉄筋端部の位置でも 40mg/L 以上の浸透を確認することができた。なお、 NO_2^- 量の測定位置は、解体時に取り出した鉄筋跡に沿って、端部 2 箇所（上部・下部）と中央部 2 箇所（中央上部・中央下部）で行っている。

図-6 は、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-:2.0$ で圧入した供試体内部における解体後の鉄筋の腐食状況を示す。この結果、腐食無しの鉄筋を埋設した G0 シリーズで見ると、非圧入供試体の鉄筋は明確な腐食が発生しているのに対し、一方の圧入供試体は端部に極わずかな腐食が発生している程度であった。圧入による防錆効果が発揮されていることが分かった。一方、予め腐食させた鉄筋を埋設した G1 及び G2 では、腐食の進展状況は直接確認できないが、自然電位や分極抵抗の結果を参考にとすると、ほとんど腐食は進行していないと思われる。

以上のことから、亜硝酸リチウムを注入することで塩害劣化環境における腐食の進展を抑制できることが分かった。さらに圧入量が多くなるほど防錆効果も高くなることが分かった。今後はより長期的な試験を継続していく予定である。

4. まとめ

- (1) 亜硝酸リチウムは、圧入孔から概ね 10cm 程度までは浸透していることが確認された。
- (2) 亜硝酸リチウムを注入することで、塩害劣化環境における腐食の進展を抑制できることが分かった。
- (3) 腐食グレードが異なる場合でも同等の防錆効果が発揮される。

参考文献：1) 一般社団法人コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR 補修の考え方～技術資料，Ver.4.2，pp.43-44，pp.57-59

2) 大塚柚人ら：腐食鉄筋に対する亜硝酸リチウムの防錆性能効果に関する基礎的研究，アップグレード論文報告集，Vol.18，pp13-18，2018.10

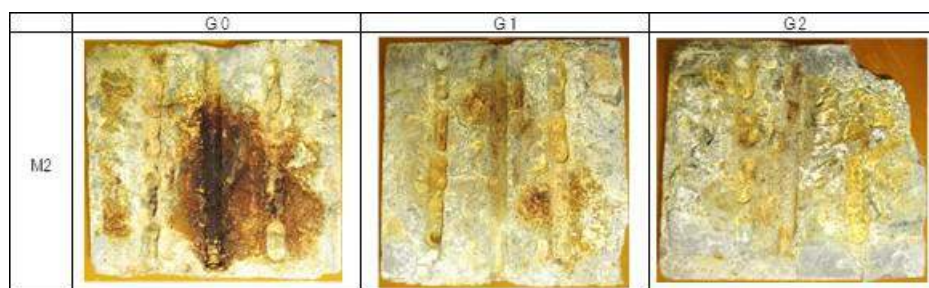


図-4 TDI 試薬呈色反応試験結果

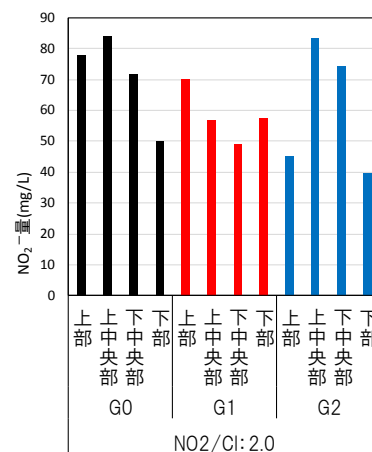


図-5 NO_2^- 量測定結果

初期腐食度 及び水準	上面	下面	打設前
G0M2			
G1M2			
G2M2			
非圧入			

図-6 鉄筋腐食状況