

塩害劣化環境下での亜硝酸 Li 圧入による腐食抑制効果に関する基礎的検討

福岡大学大学院 学生会員 ○児島あかり 福岡大学大学院 学生会員 大塚柚人
福岡大学 正会員 樋原弘貴 福岡大学 正会員 添田政司 福岡大学 正会員 村上哲

1. はじめに

亜硝酸リチウムは、ASR 対策や断面修復材に混和する研究事例や実績が多くなってきている^{1) 2)}。近年では、亜硝酸リチウムの防錆効果を利用し、塩害劣化が進行しているコンクリート構造物の鉄筋防錆を図る技術の一つとして、亜硝酸リチウムを直接コンクリートに内部圧入する取り組みが進められている³⁾。しかし、圧入後の鉄筋防錆性能に加え、その後も継続的に塩化物イオンが侵入してきた際の長期的な防錆効果について知見が少ない。そこで本研究は、腐食の進行状況が異なる塩害劣化を模擬した供試体に、亜硝酸リチウムの圧入し、圧入後の防錆効果ならびに、その後も継続的に塩害環境に曝されることを想定して、塩水浸透試験を実施して、亜硝酸リチウムの圧入による防錆効果を検討した。

2. 実験概要

供試体は、普通ポルトランドセメントを用いて水セメント比 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 Cl^- : 5.0kg/m^3 を内在させて、さらに埋設した鉄筋には、腐食なし丸鋼鉄筋 (G0) および写真-1 に示す腐食程度が異なる腐食した丸鋼鉄筋 (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。圧入量は、内在 Cl^- 量 5kg/m^3 に対して、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ (モル比) が 1.0, 2.0 になる様に設定した。図-2 に示すように、圧入後の防錆効果を検討する目的で圧入後は、温度 20℃、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。190 日目には、一部の供試体を解体し、鉄筋の腐食面積率、重量の測定、ならびに鉄筋周部のモルタルから粉体試料を採取して、デジタル吸光光度計により鉄イオン量の測定を行った。一方で、圧入後も継続的に塩害劣化環境に曝されることを想定し、長期的な防錆効果を検討する試験では、供試体をかぶり 20mm になる様にコンクリートカッターで厚さ 20mm のコンクリートを切断し、248 日目経過後から濃度 10% の塩水を浸透させながら、自然電位および分極抵抗による定期的に測定を行った。

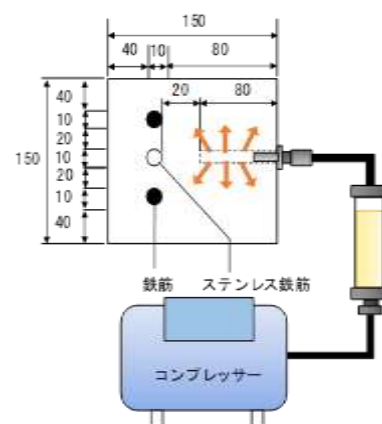


図-1 亜硝酸 Li 圧入供試体



写真-1 埋設した鉄筋

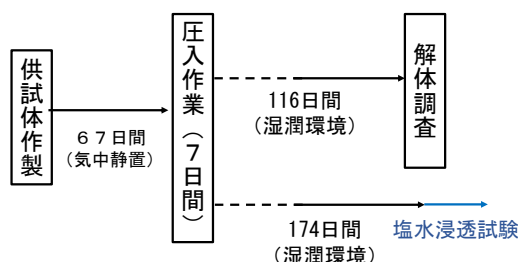


図-2 試験の流れ

3. 結果及び考察

図-3 には、圧入から 116 日間湿潤環境に静置させた解体供試体における鉄筋周部の Fe^{2+} 量と $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ の関係を腐食グレード (埋設鉄筋) ごとに示す。亜硝酸を圧入した供試体は、腐食グレードや圧入量に関らず、いずれも Fe^{2+} 量が減少する結果を示し、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ (1.0), (2.0) に違いは確認されなかった。図-4 には、各種供試体の G0 鉄筋における腐食面積率と腐食重量の関係を示すこの結果、腐食面積率は、微小な点錆びによって $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ (1.0) が最も大き

キーワード：亜硝酸リチウム、鉄筋腐食、塩化物イオン、自然電位、分極抵抗

連絡先：〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8 丁目 19 番 1 号 福岡大学 TEL 092-871-6631

くなっているが、腐食重量は、非圧入に比べて明らかに小さくなっていた。以上のことから、亜硝酸リチウムを圧入することで、既に塩害劣化が進行しているコンクリートに対しても、防錆効果が期待できることが分かった。

次に、一例として、非圧入供試体および $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- (2.0)$ における供試体作製からの自然電位の経時変化を図-5 に示す。非圧入供試体の自然電位は、塩分浸透を開始からさらに卑化する傾向を示しているのに対し、圧入供試体は、一旦は卑化傾向を示したものの、亜硝酸イオンの防錆効果により電位が貴化に転じている。これは、 $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^- (1.0)$ においても同様である。図-6 には、塩水浸透前と塩水浸透開始後の分極抵抗の経時変化を示す。非圧入供試体の分極抵抗は、上記の結果で示した様に解体時に既に鉄筋が腐食していたこともあり、塩水浸透前から低いことが分かる。一方の、圧入供試体の分極抵抗は、いずれも浸透開始前で $40\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度を示しているが、腐食グレードが G1, G2 鉄筋に圧入したものは、いずれも低下する結果となった。一方の、G0 鉄筋に対して圧入した供試体の分極抵抗は、塩水浸透後も低下は確認されず、保持されているのが分かる。亜硝酸イオンは、鉄イオンと反応して酸化被膜を鉄筋に形成する働きがあるが、腐食鉄筋は、埋設時に腐食しているため、G0 に比べて亜硝酸イオンが反応によって多くが消費されていた可能性が考えられる。以上より、軽微な腐食程度では、塩害劣化環境においても長期的な防錆性能を期待できると考えられる。しかし、既に写真-1 に示した程度に腐食が進行している塩害劣化のコンクリートに対しては、その後の塩化物イオンの供給に伴い防錆効果が徐々に低下する傾向にあるため、長期的な防錆性能の確保から塩化物イオンの浸透を抑制する別途対策工と併用することが望ましいと思われた。なお、今後も継続して試験を行い、亜硝酸リチウムの長期的な防錆効果について検討する予定である。

4. まとめ

- 1) 塩害劣化を受けているコンクリートに対しても亜硝酸 Li を圧入することで、腐食の進行を抑制できることが分かった。
- 2) 圧入後も塩化物イオンが供給される場合、腐食が軽微な鉄筋では、長期的な防錆性能を確保できる可能性があるが、明らかな腐食鉄筋には、防錆効果の確保は難しいと思われる。

参考文献：

- 1) 西嶋大貴ら：断面修復材に混和した亜硝酸リチウムがマクロセル腐食に及ぼす影響に関する研究，土木学会 71 回年次学術講演会，pp.477-478，2016
- 2) 江良和徳ら：リチウムイオン内部圧入工を施工した構造物の長期耐久性について，アップグレード論文報告集，Vol.10，pp.167-172，2010
- 3) 李春鶴ら：相対湿度および亜硝酸リチウムが鉄筋腐食に及ぼす影響に関する基礎的研究，日本コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.973-978，pp.1663-1668，2017

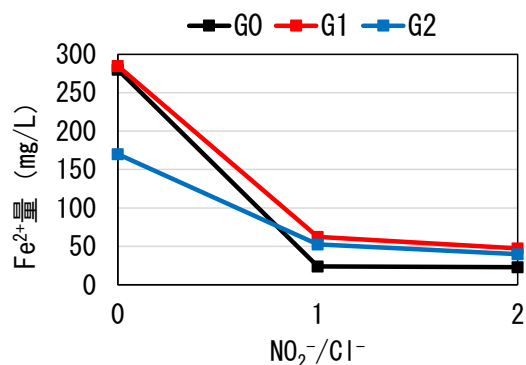


図-3 Fe^{2+} 量測定結果

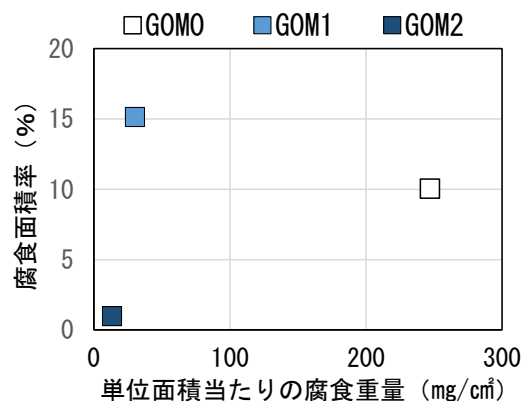


図-4 腐食面積率と腐食重量の関係

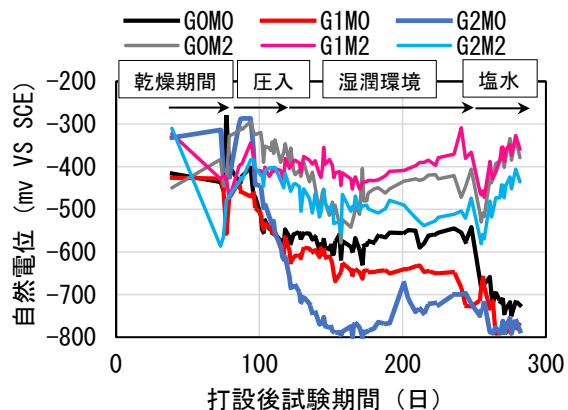


図-5 M0 シリーズおよび M2 シリーズにおける自然電位の経時変化

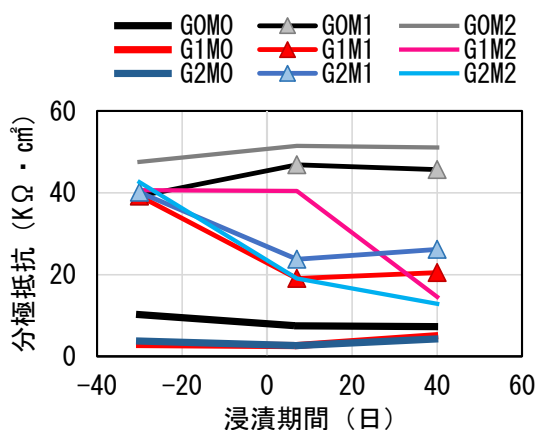


図-6 分極抵抗測定結果