

コンクリート中における Al-Mg 溶射鉄筋の耐腐食性能

北見工業大学大学院
北見工業大学
北見工業大学
NEXCO 西日本インベーションズ(株)

学生員 ○八島一也
正会員 井上真澄
正会員 崔 希燮
正会員 広野邦彦

1. はじめに

Al-Mg(アルミニウム・マグネシウム)溶射は、優れた防食技術として鋼構造分野での普及が図られており、コンクリート用防錆鉄筋としての適用が期待される。Al-Mg 溶射皮膜は、皮膜による環境遮断作用とともに、Mg による自己修復効果を発揮することから高い防食性能を有する¹⁾。しかし、コンクリート中における防食性能に関するデータは不足しており、封孔剤塗布量の影響や皮膜に損傷を受けた場合の犠牲防食効果、エポキシ鉄筋等の既存防食鉄筋に対する優位性は不明である。

そこで本研究では、封孔剤塗布量や損傷の有無をパラメータとした Al-Mg 溶射鉄筋を作製し、塩分含有コンクリート中に埋め込んだ供試体を作製して促進腐食試験を行い、その耐腐食性能について検討を行った。

2. 封孔剤塗布量が耐食性に及ぼす影響

Al-Mg 溶射の仕様を表-1 に、本実験で使用した鉄筋を表-2 に示す。Al-Mg 溶射鉄筋をコンクリート中で使用するために耐アルカリ性を有する封孔剤による溶射皮膜の保護が必要である²⁾。そこで耐アルカリ性を有するエポキシ樹脂系封孔剤を1種類選定し、メーカー推奨の標準塗布量(160g/m²)をベースに4水準の塗布量を設定し、普通鉄筋を含めて計5種類の鉄筋を使用した。母材には、丸鋼φ13(SR235)を使用した。

図-1 に促進腐食試験体の概要を示す。試験は、JCI-SC3 に準拠し、φ100×200mm の円柱コンクリート供試体中に Al-Mg 溶射を施した丸鋼をかぶりが20mm となる位置に2本配置した。コンクリートの水セメント比は66%とし、目標スランプは10±2.5cm、目標空気量は4.5±1%とした。コンクリートの塩化物イオン含有量は、12kg/m³となるように、NaCl(一般試薬)を用いて調整した。供試体は、打込み後材齢2日で脱型し、材齢28日まで20±1℃、85±5%RHの恒温恒湿室内にて封緘養生した。促進腐食試験は、湿潤期間(温度70℃、相対湿度90%)が3日間、乾燥期間(温度15℃、相対湿度65%)が4日間を1サイクルとする乾湿繰返しを20サイクルまで行った。20サイクル終了時点で供試体を解体し、鉄筋を取り出した。その後、鉄筋表面に生じた発錆の状況を透明シートに複写し、錆の部分を黒く塗りつぶしたシートをスキャナで読み込み、画像処理により腐食(発錆)面積の測定を行った。

写真-1 に20サイクル終了時点における鉄筋の腐食状況および腐食面積率を示す。Nと封孔処理を施していない Al-Mg0 では全域に渡って腐食が観察された。Al-Mg0 は

表-1 Al-Mg 溶射の仕様

金属溶射	アルミニウム(95%)・マグネシウム(5%)合金
皮膜厚さ	180±40μm
溶射方法	プラズマアーク金属溶射(TAPS 溶射)

表-2 鉄筋の種類

略号	Al-Mg 溶射	封孔処理	封孔剤塗布量
N	—	—	—
Al-Mg0	○	—	—
Al-Mg40	○	○	40g/m ²
Al-Mg80	○	○	80g/m ²
Al-Mg160	○	○	160g/m ²

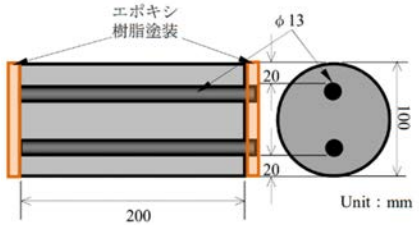


図-1 促進腐食試験概要

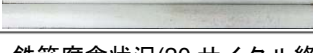
種類	Cl ⁻ =12kg/m ³ (腐食面積率)
N	 (100%)
Al-Mg0	 (93%)
Al-Mg40	 (0%)
Al-Mg80	 (0%)
Al-Mg160	 (0%)

写真-1 鉄筋腐食状況(20サイクル終了後)

キーワード

Al-Mg 溶射鉄筋, 促進腐食試験, 皮膜損傷, 犠牲防食, 封孔剤, ラマン分光分析

連絡先

〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地
北見工業大学 工学部 社会環境系 TEL 0157-26-9513

溶射皮膜を保護する封孔処理を施していないため、セメント水和生成物である水酸化カルシウムと溶射皮膜の主成分であるアルミニウムが液相反応により水素を発生し、溶射皮膜が浸食を受けたものと考えられる。一方、封孔剤を塗布した溶射鉄筋では、いずれも鉄筋腐食は確認されなかった。しかし、Al-Mg40 と Al-Mg80 では、部分的に溶射皮膜の剥がれを確認した。これに対して Al-Mg160 では、封孔剤表面での変状や溶射皮膜の剥がれ等は全く確認されず、良好な耐食性を有することを確認した。

3. 損傷を付与した溶射鉄筋の耐腐食性能

Al-Mg 溶射の特長である犠牲防食効果に着目し、損傷を付与した Al-Mg 溶射鉄筋を塩分含有コンクリート中に埋め込んだ供試体を作製して促進腐食試験を行い、その耐腐食性能についてエポキシ(EP)鉄筋と比較検討を行った。表-3 に試験に用いた鉄筋の種類を示す。

Al-Mg 溶射の仕様は表-1 と同様であり、2 章の結果からエポキシ樹脂系封孔剤を 160g/m² 塗布した。母材鉄筋には異形棒鋼 D13(SD345)を使用した。損傷部は、図-2 のように全長 210mm の鉄筋中央部とその中央部から 50mm 離れた箇所計 3 点で皮膜に ϕ 3mm の傷をつけ、鉄筋素地を露出させた。2 章と同様 JCI-SC3 に準拠した促進腐食試験を行い、20 サイクル終了時点で供試体を解体し、鉄筋の腐食状況を確認した。

写真-2 に鉄筋の腐食状況を示す。N では、全域に渡って腐食が観察された。これに対して損傷を付与していない Al-Mg および EP では、鉄素地の腐食は確認されなかった。一方で損傷を付与した場合、EP では損傷を付与して鉄素地を露出させた部分で腐食が確認された。

写真-3 に損傷を付与した鉄筋の一例を拡大して示す。EP では、鉄素地を露出させた部分に腐食が観察されるとともに、部分的には損傷部周辺にもエポキシ樹脂塗装部の膨れや鉄素地の腐食が観察された。一方で Al-Mg では、鉄素地を露出させた部分には腐食は確認されなかった。溶射皮膜に含有する Mg は、皮膜に傷が生じたとき水分や酸素が供給されると、犠牲防食作用により Mg の化合物が傷を塞ぐ自己修復効果を発揮することが知られており¹⁾、その効果により高濃度の塩分を含むコンクリート中においても鉄素地に腐食を生じなかったものと推察される。

図-3 にラマン分光分析(レーザー波長 532nm)の結果を示す。EP では α -Fe₂O₃ のピークが確認された。これは損傷部に Cl⁻ による局所的な不働態皮膜の破壊が起きたものと考えられる。一方、Al-Mg では α -FeOOH に加え Fe₃O₄ のピークが確認された。Al 存在下では腐食部に α -FeOOH が生成される³⁾ことが報告されており、損傷部に Al による不働態皮膜の生成とともに鉄素地に安定錆が生成されたものと考えられる。

4. まとめ

耐アルカリ性を有するエポキシ樹脂系封孔剤を塗布した Al-Mg 溶射鉄筋は、塩分含有コンクリート中に於いて良好な耐食性が得られた。また、損傷を付与した場合、EP 鉄筋では損傷を付与して鉄素地を露出させた部分で腐食が確認されたのに対して、Al-Mg 溶射鉄筋では鉄素地を露出させた部分には腐食は確認されなかった。これは Al-Mg 溶射皮膜の犠牲防食効果によるものと推察される。

参考文献

- 1) 西日本高速道路株式会社：アルミニウム・マグネシウム合金溶射 設計施工管理要領，2015.7
- 2) 柴田ら：Al-Mg 溶射鉄筋のコンクリート部材への適用性に関する基礎的研究：土木学会北海道支部論文報告集，Vol.75，E-12，2018
- 3) 土井ら：塩分飛来環境における Al 含有鋼さび中の Al 状態分析，日本金属学会誌，Vol.74，No.1，pp.10-18，2010

表-3 鉄筋の種類

鉄筋の種類		外観
普通鉄筋	N	
Al-Mg 溶射鉄筋	Al-Mg(傷なし)	
	Al-Mg(傷 ϕ 3mm)	
エポキシ鉄筋	EP(傷なし)	
	EP(傷 ϕ 3mm)	

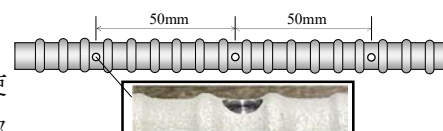


図-2 鉄筋の皮膜損傷状況

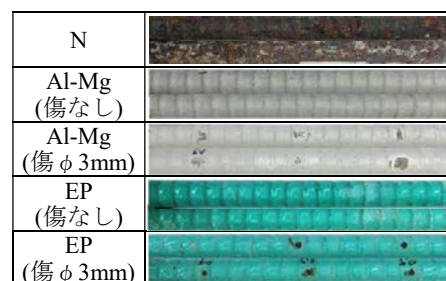


写真-2 鉄筋腐食状況(20 サイクル終了後)

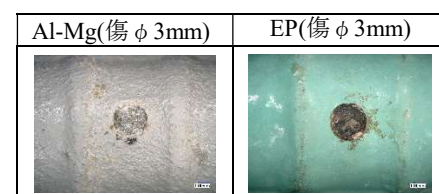


写真-3 損傷部の腐食状況

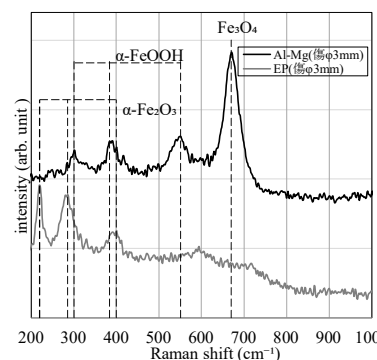


図-3 損傷部のラマンスペクトル