

寒冷・飛来海塩環境における Al-5%Mg 合金溶射と重防食塗装の重ね部の耐食・防食性に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○劉 少博
九州大学大学院 正会員 楊 沐野

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
(株)富士技建 正会員 武藤 和好
西日本高速道路(株) 正会員 宮田 弘和

1. はじめに 近年、橋梁等の塗装仕様の鋼構造物の防食性能を回復するために、耐食・防食性に優れた Al-5%Mg 合金溶射（以下、Al-Mg 溶射）を腐食性の高い部位に部分的に適用する事例が増加している。しかし、Al-Mg 合金溶射と重防食塗装の重ね部の耐食・防食性については、不明な点が多い。そこで、著者らは先行研究¹⁾で Al-Mg 溶射皮膜と塗膜の重ね部を模擬した試験体を製作して、その腐食促進試験（JIS K 5600-7-9 サイクル D）を行うことで NaCl による高腐食環境における耐食・防食性について検討した¹⁾。本研究では前述と同様の試験体を用いて大気暴露試験を寒冷・飛来海塩環境で実施することで、様々な腐食要因が Al-Mg 溶射皮膜と塗膜の重ね部の耐食・防食性に及ぼす影響を検討した。

2. 試験方法 試験体の基材には、150×70×6mm の寸法の裸普通鋼材（JIS G3106 SM490A）を用いた。鋼材の化学成分を表-1 に示す。試験体は Al-Mg 溶射および塗替え塗装用の Rc-I 塗装系（以下、Rc-I 塗装）の重ね部位を想定して作成した（以下、OVL 試験体）。溶射皮膜は一般に皮膜内の気孔を樹脂で充填する封孔処理が行われる。そこで、封孔処理が溶射皮膜の耐食・防食性能に及ぼす影響を検討するために、Al-Mg 溶射皮膜に封孔処理した OVL-S 試験体も製作した。また、塗膜あるいは溶射皮膜のみの部位と重ね部の耐食・防食性能を比較するため、溶射のみを施した部位（以下、溶射部）、重ね部および塗装のみを施した部位（以下、塗装部）の3つの仕様の領域を試験体の長辺方向を3等分して並列配置した。試験体と傷の形状・寸法および皮膜の構成を図-1 に示す。試験体には Al-Mg 溶射の犠牲陽極の有効範囲を検討するために、12mm の帯状傷を図-2 のように機械加工した²⁾。大気暴露試験は北海道苫小牧市内の南側の海岸から約 2m に位置する雨洗効果のある海岸線（Lat.42°35'N, Long.141°27'E）で実施した。なお、暴露地点における飛来海塩量 w_{NaCl} の年平均値は 3.4mdd である。また、設置角度は 45°の対空面および対地面、暴露期間は 2016 年 5 月から約 18 ヶ月間とした。試験体は半年ごとに回収し、構造化投影位相シフト法を用いた非接触式 3 次元計測装置を用いて表面性状を計測した。さらに、皮膜の劣化機構を検討するために、試験体の断面 EPMA 分析を実施した。

3. 試験結果 試験終了後の試験体の対空面の外観を図-3 に示す。暴露 6 ヶ月から重ね部に塗膜膨れが発生しているが、溶射部と塗装部は健全な状態を維持している。OVL 試験体と OVL-S 試験体ともに傷部と傷部近傍に白色あるいは赤褐色の腐食生成物が生じており、暴露期間が増加すると腐食生成物の発生量が増加している。また、白色の腐食生成物は Al-Mg 由来の Al_2O_3 や MgO 等の酸化物であり、溶射皮膜をアノード、鋼素地をカソードとした犠牲防食作用により傷部近傍の鋼素地が防食されたと考えられる³⁾。したがって、飛来海塩環境では溶射皮膜の劣化とともに、鋼素地近傍に析出膜が生成されると言える。重ね部の膨れ状況を図-4 に示す。暴露開始後 18 ヶ月までは、OVL-S 試験体の重ね部でほぼ全面的な劣化した。溶射と塗装重ね部の耐久性は溶射単膜より劣っている。また、劣化した重ね部の断面 EPMA 分析結果を図-5 に示す。O が存在している領域で Al が観察されることから、腐食生成物は主に Al の酸化物で形成されていると言える。さらに、皮膜内部の剥離している部分に Cl が分布していることから、飛来海塩に起因する溶射と塗装の重ね部の劣化が皮膜内部に進行している。Mg は先に犠牲防食反応して溶射金属から分離した酸化物が、Rc-I の下塗層に蓄積されている。そのため、劣化した重ね部は異種類の物質の結合であり、溶射と塗装各層の膨張係数が異なり、気温変化や直射日光による温度上昇の影響で皮膜の膨れが発生するとともに、Rc-I 塗装層にも表面から剥離が進行する。また、紫外線と塗膜劣化因子の付着や浸入により、塗膜表

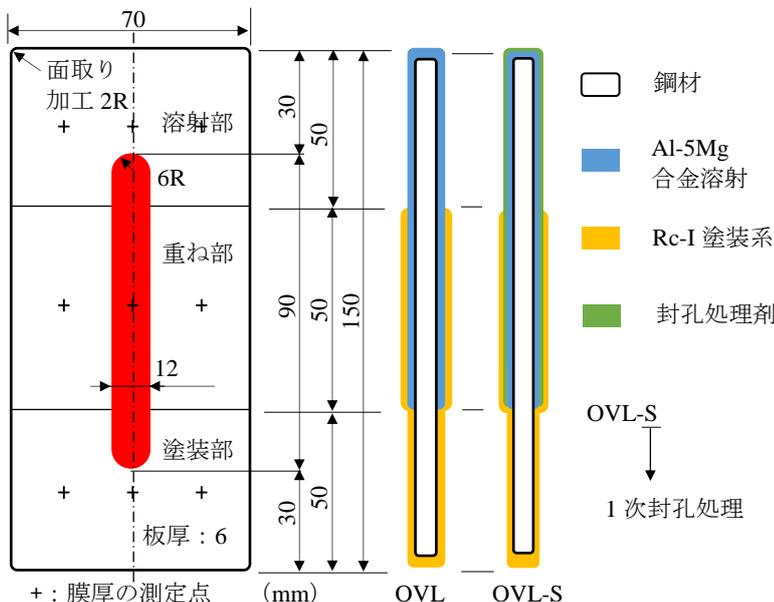


図-1 試験体と鋼素地露出部の形状・寸法および皮膜の構成

表-1 鋼材の化学成分 (mass%)

C	Si	Mn	P	S
0.16	0.36	1.42	0.017	0.004

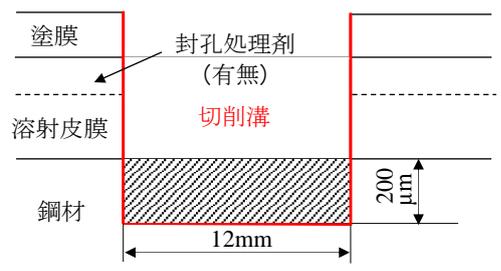


図-2 鋼素地露出部の断面の形状・寸法

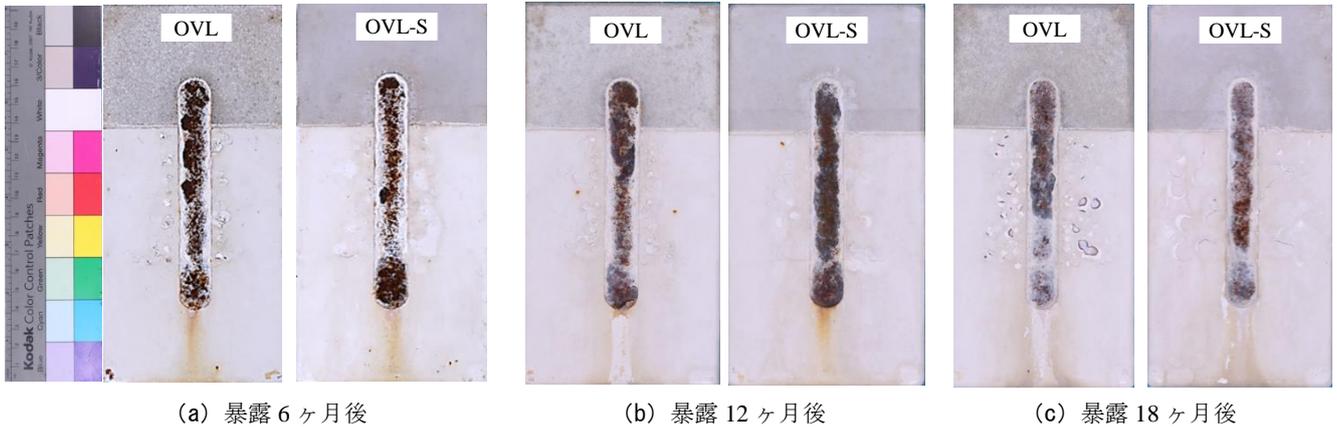


図-3 試験体の表面状態

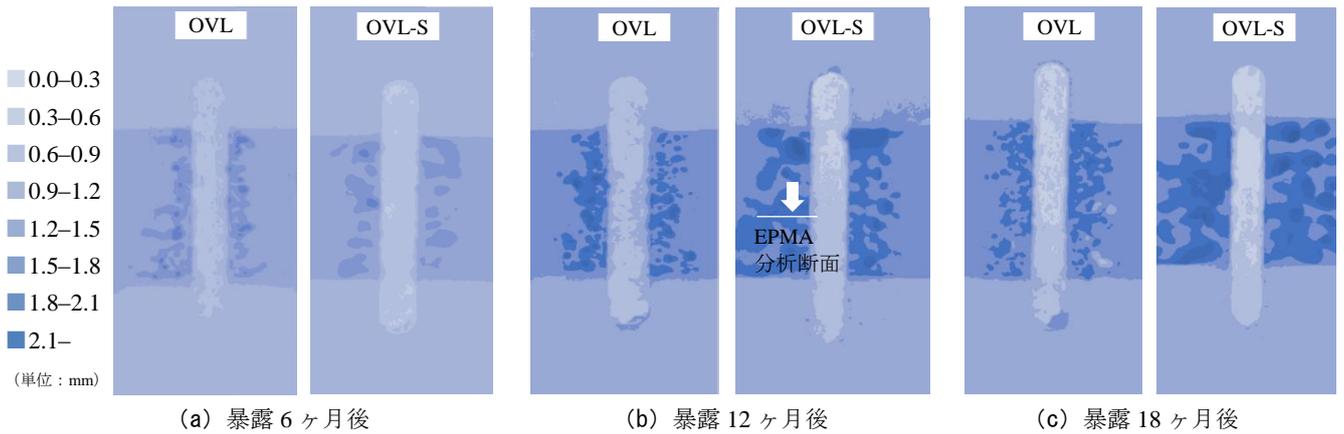


図-4 試験体の膨れ性状

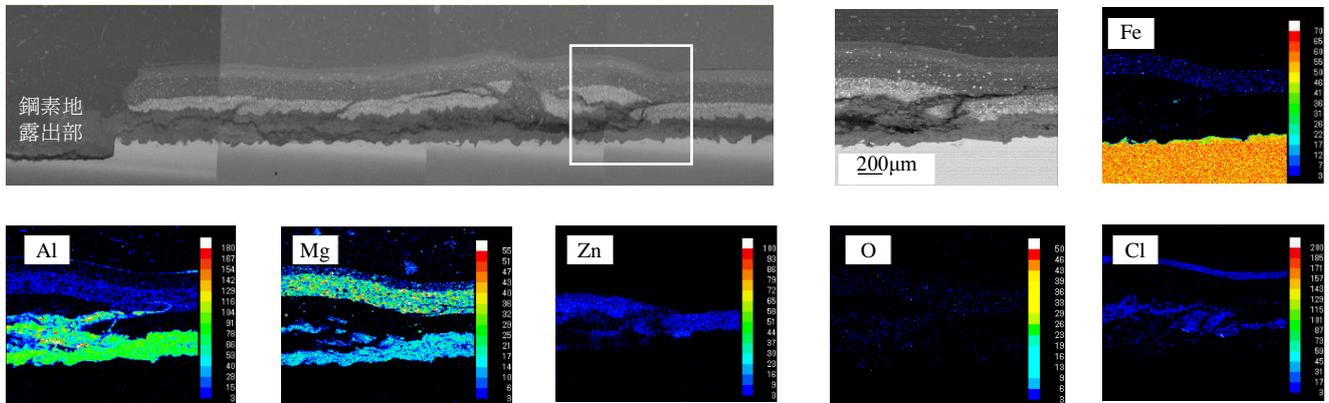


図-5 EPMAによる元素分析 (OVL-S, 12ヶ月)

層の劣化がさらに進行する。各物質の体膨張係数が異なるため皮膜膨れが発生し、Rc-I塗膜についても表面の上塗層に引張りずみが繰り返し生じることで劣化が進行する。一方、OVLとOVL-Sの膨れ性状の差異については、封孔処理剤が腐食要因物質の侵入を抑制することで、溶射皮膜上部ではアノード反応が阻害されるため、溶射皮膜のアノード反応有効領域が無封孔の場合に比して小さくなる¹⁾。この結果、封孔処理した場合は、処理しない場合に比して鋼素地露出部端部から試験体の幅方向により深く溶射皮膜のアノード反応による劣化が進行したと言える。これは先行研究¹⁾で行った促進試験、および他の暴露場における暴露試験の結果と一致している。

4. まとめ 1) 飛来海塩環境における重ね部のAl-Mg溶射皮膜の耐久性は、溶射や塗装が単膜のみの場合に比して著しく低くなる。2) 皮膜内部の剥離している部分にClが分布していることから、重ね部の劣化が皮膜内部に進行している。3) 飛来海塩環境のように溶射層のアノード反応が発生し易い環境において、溶射表面に封孔処理した場合は、処理しない場合に比して鋼素地露出部端部から試験体の幅方向でより深い溶射皮膜のアノード反応による劣化が進行する。

参考文献 1) 貝沼重信, 藤本拓史, 杜錦軒, 楊沐野, 武藤和好, 宮田弘和: Al-5Mg合金溶射と重防食塗装の取合部における耐食・防食特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集, A1, Vol.73, No.2, pp.496-511, 2017.

2) 貝沼重信, 八木孝介, 郭小竜, 小林淳二, 佐島隆生: 防食皮膜試験体に導入するクロスカットの機械加工法に関する基礎的検討, 鋼構造年次論文報告集, Vol.24, No.107, pp.733-739, 2016.

3) 貝沼重信, 郭小竜, 小林淳二, 武藤和好, 宮田弘和: NaClによる高腐食性環境におけるAl-5Mg合金溶射皮膜の耐食・防食特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A, Vol.72, No.3, pp.440-452, 2016.