Al-5Mg 合金溶射と重防食塗装の重ね部の耐食・防食特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　学生会員　楊　昊軒
九州大学大学院　フェロー会員　貝沼　重信
㈱富士技建　正会員　武藤　和好
西日本高速道路㈱　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で著しい腐食が生じやすい部位を予防保全するために，耐久性に優れている Al-5Mg 合金溶射 [1]が採用される事例が増加している．溶射が困難な狭隘部では，Al-5Mg 合金溶射皮膜上に塗膜が塗布され，重ね部が生じる場合がある．先行研究では，JIS K5600 サイクル D による腐食促進試験を行い，重ね部の耐食・防食特性について検討した [2]．しかし，様々な大気環境における重ね皮膜の耐食・防食特性の詳細は不明な点が多い．そこで，本研究では飛来海塩量と付着塩の雨洗作用の有無に着目することで，線・帯状の人工欠陥を導入した重ね部を有する試験体の大気暴露試験を行った．

2. 試験方法　本試験には JIS G3106 SM490A 材（150×70×6mm）を用いた．試験体の形状・寸法，および皮膜の構成を**図-1** に示す．試験体は Al-5Mg 溶射皮膜のみの領域（以下，溶射部），Rc-I 塗装のみの部位（以下，塗装部）および溶射と塗装を重ねた領域（以下，重ね部）の 3 つの仕様の皮膜を試験体の長手方向を 3 等分して配置した．また，溶射皮膜のアクリルシリコン系樹脂塗料による 1 次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，未封孔の試験体（以下，OVL 試験体）と封孔処理した試験体（以下，OVL-S 試験体）の 2 種類を製作した．さらに，溶射皮膜の犠牲陽極防食の有効範囲を検討するために，試験体の表裏面それぞれに，幅 0.2mm と 12mm の線・帯状の鋼素地露出部を機械加工により施した [3]．大気暴露試験は，1）沖縄本島の東側海岸線から約 2.3km 西側海岸線から約 4.4km に位置する琉球大学千原キャンパス構内（以下，琉球大学）（Lat.26°15'N, Long.127°46'E），2）沖縄本島の西側海岸線から約 10m に位置する沖縄自動車道の高架橋下（以下，許田）（Lat.26°32'N, Long.127°57'E）の 2 つの地点で実施した．各暴露地点の温度 *T*，湿度 *RH* および飛来海塩量 *w* を**表-1** に示す．試験体の設置角度は，水平方向に対して 45°として，対空面および対地面を評価対象とした．また，暴露期間は 2016 年 5 月から約 36 ヶ月間とした．試験終了後の試験体の膨れ性状を定量評価するために，構造化投影位相シフト法を使用した非接触式 3 次元計測装置（測定ピッチ：約 0.2mm，分解能：約 0.01mm，画素数：640×480 pixcel）を用いて表面性状を測定した．また，重ね部の耐食・防食特性を明らかにするために，EPMA による元素分析も行った．

3. 試験結果　暴露後の OVL 試験体の対空面の表面状態を**図-2** に示す．**図-2(a)** に示す琉球大学の OVL 試験体は，3 年目で鋼素地露出部とその近傍に Al-5Mg 合金溶射の犠牲陽極作用で発生した白色系の腐食生成物が付着していた．また，溶射は外観観察上，健全であった．**図-2(b)** に示す許田の OVL 試験体は，対空面の鋼素地露出部とその近傍に白色系の腐食生成物が生じているが，対地面には観察されない．また，重ね部については，白色系の腐食生成物や皮膜の膨れが観察されることから，重ね皮膜は劣化していると言える．溶射部や塗装部が健全であることから，鋼素地露出部を有する Al-5Mg 合金溶射皮膜と Rc-I 塗装の重ね皮膜の耐食性は，各皮膜のみの場合に比して著しく低下すると考えられる．また，OVL-S 試験体の表面状態は OVL 試験体と同じ傾向を示す．琉球大学と許田の OVL 試験体の膨れ性状をそれぞれ**図-3** に示す．琉球大学の OVL 試験体は，3 年目で重ね部に皮膜の膨れが生じている．一方，溶射部と塗装部については，膨れは生じていない．許田の OVL 試験体は，暴露時間が長くなるにしたがって重ね部の皮膜の膨れ面積が増加し，2 年後には重ね部の皮膜が剥離している．各試験体の対地面については，重ね部の塗装皮膜は膨れが生じていない．OVL 試験体のカット部の EPMA 分析の結果を**図-4** に示す．許田の OVL 試験体の対空面のカット部では，重ね部の塗装皮膜が剥離していた．一方，両試験体とも重ね部下の鋼素地につい

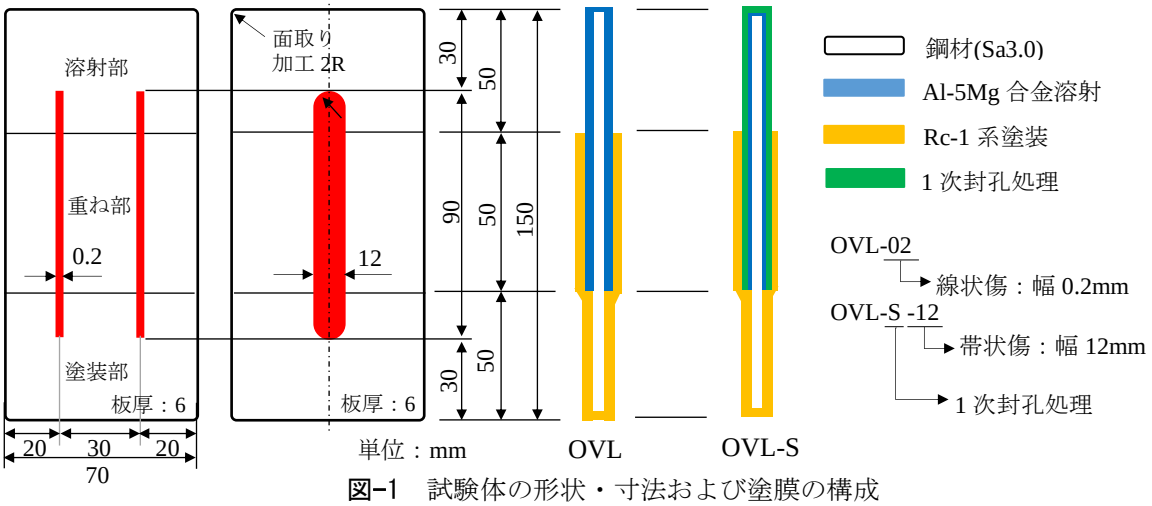
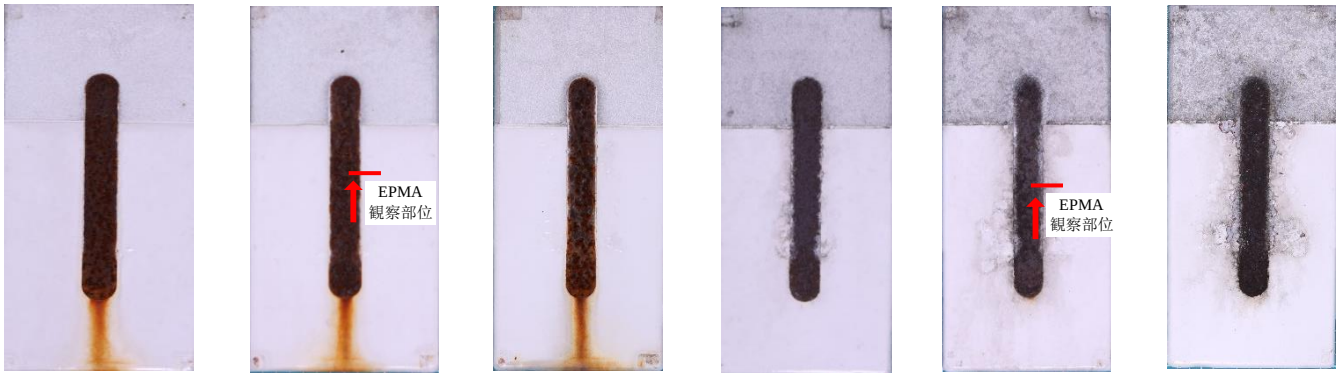


図-1　試験体の形状・寸法および塗膜の構成

表-1　各暴露地点の大気環境データ

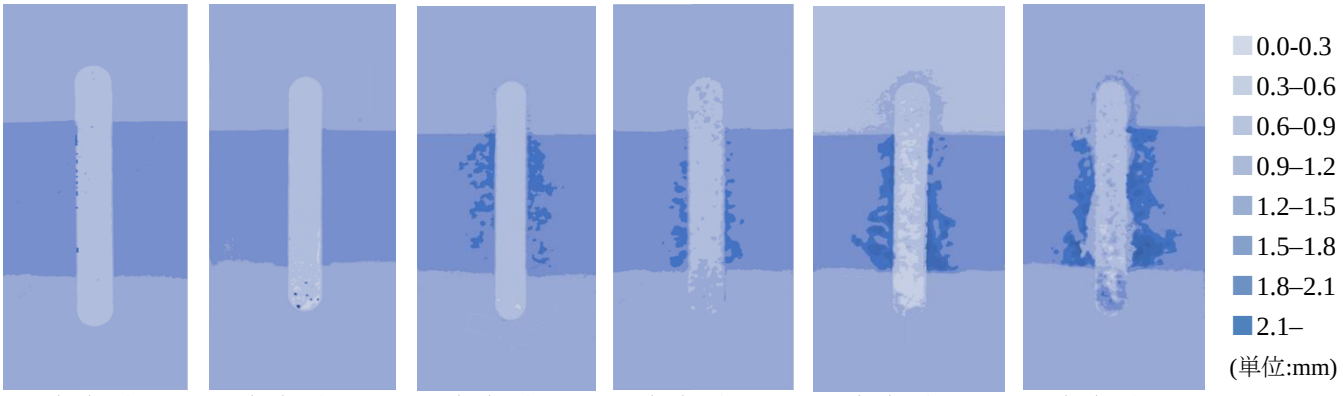
暴露地点	平均飛来海塩量 *w* (mdd)	平均湿度 *RH* (%)	平均温度 *T* (°C)	飛来塩測定期間	温湿度測定期間
琉球大学	0.3	81.5	22.9	2006/07-2010/06	2015/01-2019/09
許田	0.5	82.9	22.7	2009/04-2018/03	



（ⅰ）1 年　（ⅱ）2 年　（ⅲ）3 年　（ⅰ）1 年　（ⅱ）2 年　（ⅲ）3 年

(a)　琉球大学　　(b)　許田

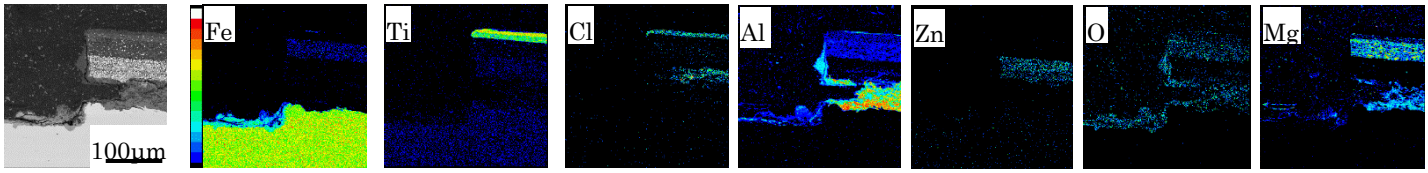
図-2　OVL 試験体の外観（対空面）



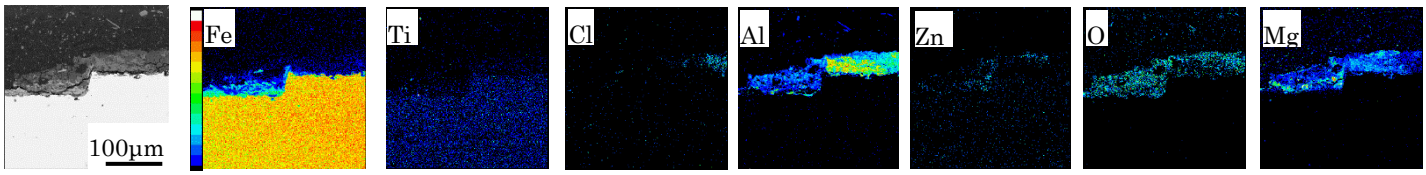
（ⅰ）1 年　（ⅱ）2 年　（ⅲ）3 年　（ⅰ）1 年　（ⅱ）2 年　（ⅲ）3 年

(a)　琉球大学　　(b)　許田

図-3　OVL 試験体の膨れ性状（対空面）



(a) 琉球大学 OVL 試験体　2 年　対空面



(b) 許田 OVL 試験体　2 年　対空面

図-4 試験体カット部の EPMA による元素分析結果

ては，比較的に健全な状態であった．鋼素地近傍に付着している腐食生成物は Al，Mg および O が多く含まれていることから，その生成物は Al-5Mg 合金皮膜由来の酸化物（Al_2O_3，MgO）や水酸化物（$Al(OH)_3$，$Mg(OH)_2$）の混和物であると考えられる．降雨や結露などにより鋼材の表面が濡れると，可溶性水酸化物（$Mg(OH)_2$）や微量の難溶性物質（$Al(OH)_3$，Al_2O_3，MgO）が溶解する．また，乾燥状態になると，水に溶解していた前述の可溶性物質と難溶性物質が部分的に水分子と結合して，水和物の結晶として析出する．その結果、鋼素地露出部に析出膜が生成されて，これらが鋼素地の腐食を抑制すると考えられる．また，Al-5Mg 合金皮膜由来の析出膜が蓄積されるにしたがって，試験体の表面が濡れ状態の時に水に溶解する電解質が多くなる．その結果，溶射金属の犠牲陽極作用が促進され，琉球大学の試験体の対空面が暴露後 3 年で重ね皮膜の膨れが発生したと考えられる．

4. まとめ　1）腐食促進試験（JIS K5600 サイクル D）と同様に，飛来海塩の大気環境についても溶射皮膜上に塗装を塗布した重皮膜ね部では，溶射皮膜は早期劣化する．2）鋼素地近傍に付着している腐食生成物は Al，Mg および O を多く含有していることから，その生成物は Al-5Mg 合金皮膜の陽極金属由来の酸化物（Al_2O_3，MgO）や水酸化物（$Al(OH)_3$，$Mg(OH)_2$）の混和物であると考えられる．3）溶射金属の犠牲陽極作用は，Al-5Mg 合金皮膜由来の析出膜が蓄積され，濡れ状態の時に水に溶解する電解質が多くなることで促進される．

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，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.　3）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.739-740，2016.