

## 溶融亜鉛-アルミニウム合金めっき検査路暴露試験20年目の結果

東日本高速道路（株）正会員 西川孝一，正会員○佐々木英雄，上杉亮  
（一社）日本溶融亜鉛鍍金協会 前山雅博，諸岡俊彦，成澤孟

### 1. はじめに

溶融亜鉛めっきは鋼構造物の防錆対策として広く普及しているが、海塩粒子濃度の極めて高い海岸地域等、厳しい腐食環境下では耐食性能が十分でない事例が報告されている。

日本海側に面した北陸自動車道の一部でも、亜鉛めっきを施した橋梁付属物に著しい腐食が発生している。この対策として塩害環境下でも十分な耐食性を発揮する溶融亜鉛アルミ合金めっきを実橋の検査路に適用し、20年に渡り継続的に腐食状況を調査した。本稿では、実橋に設置した検査路の20年目の追跡調査結果について報告する。



図-1 調査場所

### 2. 調査場所（図-1）

#### 2.1 調査対象箇所

調査対象箇所は北陸自動車道糸魚川 IC～名立谷浜 IC 間の徳合川橋、境橋、脇谷川橋の3橋で、いずれの橋梁も日本海に面し、海岸線から200m程度の谷間に架けられ、冬季は強烈な海からの季節風に晒される。JIS Z 2381 に従って計測した徳合川橋検査路上での飛来塩分濃度は、夏季平均  $10 \text{ mgNaCl/day/m}^2$  に対し、冬季平均  $200\sim400 \text{ mgNaCl/day/m}^2$  と特に冬季の飛来塩分濃度は高く、激しい塩害環境となっている。

#### 2.2 調査経緯

対象橋梁のⅡ期線施工時（平成11年（1999年））に極めて厳しい腐食環境下にあるため、溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを施した検査路を設置した。めっき浴成分は、上部工検査路に  $\text{Zn}+5\%\text{Al}$ 、下部工検査路に  $\text{Zn}+5\%\text{Al}+1\%\text{Mg}$  のものを採用した。同時に、徳合川橋検査路上に溶融亜鉛アルミニウム合金めっき ( $\text{Zn}+5\%\text{Al}$  及び  $\text{Zn}+5\%\text{Al}+1\%\text{Mg}$ ) に塗装施した試験片も設置し、1, 2, 3, 5, 10, 13, 14年経過時に追跡調査を行っている。

### 3. 溶融亜鉛-アルミニウム合金めっき検査路の外観

溶融亜鉛-アルミニウム合金めっきのめっき皮膜を構成する亜鉛は、大気中で酸素、水、炭酸ガスと反応して表面に酸化亜鉛  $\text{ZnO}$ 、水酸化亜鉛  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 、炭酸亜鉛  $\text{ZnCO}_3$  からなる緻密で防食性皮膜となる塩基性炭酸亜鉛  $2\text{ZnCO}_3\cdot3\text{Zn}(\text{OH})_2$  等を形成する。アルミニウムも同様にその表面に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot x\text{H}_2\text{O}$  からなる緻密な酸化皮膜を形成して不動態化し、この不動態化皮膜は塩水や亜硫酸ガス等の腐食性因子に優れた耐食性能を発揮する。

調査対象3橋の合金めっき検査路の表面は全般的には、亜鉛酸化物及びアルミニウム酸化物からなる不動態皮膜の上に海塩粒子の影響で塩化物を含む白色の腐食生成物を観察したが、めっき皮膜の耐食性能は保たれており腐食生成物の脱落した部分でも健全なめっき皮膜を確認した。また、海塩粒子の吹き溜まりとなる一部の場所では、ステンレスボルトとの接触箇所等で局所的な赤錆の発生が観察された。

### 4. めっき皮膜厚測定

#### 4.1 膜厚の測定箇所と測定方法

各橋梁上部工検査路および、下部工検査路の検査路設置時にあらかじめ定めた箇所について、めっき膜厚の測定を行った。膜厚測定は電磁膜厚計を使用し、めっき面に付着している腐食生成物等は取除かずに測定箇所内を無作為に25点測定し、その平均値を測定値とした。

キーワード 溶融亜鉛アルミニウム合金めっき，暴露試験，塩害環境

連絡先 〒950-0917 新潟市中央区天神 1-1 新潟プラウカ 3 (4F) 東日本高速道路(株) TEL025-241-511

## 4.2 膜厚の測定結果

めっき皮膜厚測定箇所ごとに、膜厚測定の最小値が調査初期膜厚の平均値以下であった場合、腐食生成物が剥落した残存めっき厚を示していると仮定して、膜厚測定の最小値を調査開始時の膜厚測定平均値で除した値の百分率をめっき皮膜の残存率として算出した。この様に算出しためっき皮膜の残存率は55%以上で、20年間の暴露試験でおよそ40%のめっき皮膜厚を減耗しているとの推測を得た。

## 5. 塗装の密着性及び光沢度測定

塗膜の密着性と光沢度の変化を調査した。

試験片には表1に示す、2種類の塗装が行われている。

行程	塗装条件		塗膜厚 (μm)
表面調整	サンドペーパーで目粗し		—
下塗	亜鉛めっき用エポキシ樹脂塗料		35
中塗	ポリウレタン樹脂塗料	シリコン変性アクリル樹脂塗料	35
上塗	ポリウレタン樹脂塗料	シリコン変性アクリル樹脂塗料	25

表-1 塗装試験片の塗装条件

### 5.1 試験方法

塗膜の密着性と光沢度の変化を下記にしたがって試験した。

- (1) 外観 塗膜表面の膨れ、剥離などの変化を目視で調査した。
- (2) 密着性 碁盤目テープ法および、×カット法により評価した。
- (3) 光沢度測定 塗膜の60度鏡面光沢度を測定した。

### 5.2 塗装の密着性及び光沢度測定結果

塗装の密着性及び光沢度について、下記に示す結果が得られた。

- (1) 外観 両塗装ともに、塗膜に膨れや剥離など塗膜の損傷となる変化を認めなかった。
- (2) 碁盤目テープ法による密着性評価 ポリウレタン樹脂塗装に5%以下の剥離面を観察、シリコン変性アクリル樹脂塗装には6～25%の剥離面を観察した。碁盤目テープ法の試験結果からは両塗装とも健全な密着性能を確認した。
- (3) ×カット法による密着性評価 両塗装ともに、×カット部に僅かな剥がれを観察した程度で、健全な密着性能を確認した。
- (4) 光沢度測定 両塗装ともに光沢度は、初期値の10%程度まで低下しており、塗膜の光沢度は消失していると判断した。



図-2 異種金属接触腐食



図-3 手摺の消失

## 6. まとめ

飛来塩分の非常に多い検査路について、下記に示す結果が得られた。

- ① 検査路の大部分において、白色の腐食生成物を観察した。海塩粒子の飛来が多い地域であるため、めっき皮膜上の腐食生成物は嵩高い状態であったが、雨で洗い流される箇所や、風の抜けが良く海塩粒子が堆積しにくい箇所ではそこまでの発生は認められず、耐食性能を十分に発揮しているめっき皮膜を観察した。
- ② 一部の締結ボルト（ステンレス製）の周りでめっき皮膜の損耗による鋼材の腐食を観察した。ステンレスとめっき皮膜が接触することにより、異種金属接触腐食を起こした結果と考えられる（図-2）。検査路歩廊などの部材上面や吹き溜まりとなる箇所などでは、堆積した海塩粒子や高湿度により異種金属接触腐食が促進する傾向にあり、この腐食の促進から赤錆の発生に至ったと考えられる。
- ③ 合金めっきに塗装を施した試験片には塗膜の損傷はなく、健全な密着性が確認された。また、いずれの条件においても塗膜の光沢度はおよそ消失していた。
- ④ 下部工検査路の一部手摺が消失するほどの激しい腐食も今回観察した（図-3）。これは手摺内面からの腐食と見られ、めっき加工時に必要な（エア抜き）穴などから海塩粒子が侵入した影響と考えられる。今後、同箇所に追加で設置された腐食減量調査用の溶融亜鉛アルミニウム合金めっき暴露試験片の追跡調査を令和3年に計画しており、本調査と合わせ総括した取り纏め行う予定である。