

## 飛来塩分環境下における溶融亜鉛-アルミ合金めっきの曝露試験 15 年目の結果

東日本高速道路株式会社    ○正会員 戸久世昂真    正会員 東田典雅    正会員 小川正幸  
(一社) 日本溶融亜鉛鍍金協会    前山雅博    諸岡俊彦    阿部真丈

### 1. はじめに

溶融亜鉛めっき(以下:Zn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沿岸地域等、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道の一部でも、建設時にZnめっきを施した検査路に著しい腐食が発生し、1999年に溶融亜鉛アルミ合金めっき(以下:Zn-Al合金めっき)検査路に更新するとともに、合金めっき成分の違いが耐食性に及ぼす影響を把握することを目的に、北陸道徳合川橋に曝露試験片を設置し継続的に調査を行ってきた。本稿では、合金めっき成分の異なる曝露試験片の15年経過時点の調査結果ならびに実橋に設置した検査路の追跡調査結果について報告する。

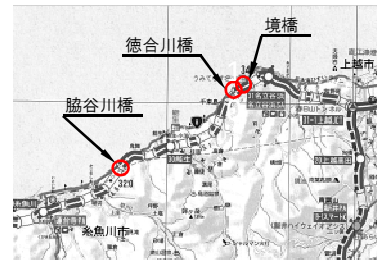


図-1 調査位置図

### 2. 調査概要

#### 2.1 調査箇所

北陸自動車道糸魚川IC～名立谷浜IC間(1988年供用)の徳合川橋、境橋、脇谷川橋の3橋で(図1)とした。いずれも、海岸線から200m程度の谷間を横過し、冬季は日本海からの飛来塩分が非常に多い極めて厳しい腐食環境下にある。JIS Z 2381に従って計測した徳合川橋検査路上の飛来塩分を図2に示す。伊良湖岬(海岸より30m)での測定結果と比較し、海塩粒子濃度が極めて高いことがわかる。

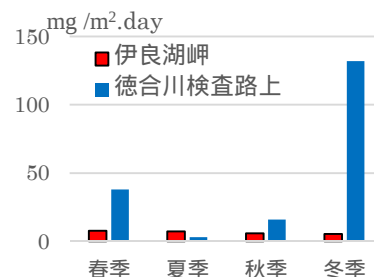


図-2 飛来塩分測定結果

#### 2.2 調査方法

##### (1) 検査路

外観調査および設置初期にあらかじめ定めた箇所では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した。1箇所あたり25点を測定し、その平均値を測定値とした。なお、上部工検査路はZn+5%Al、下部工検査路はZn+5%Al+1%Mgを採用している。

##### (2) 曝露試験片

外観調査および腐食減量の測定を行った。腐食減量は、曝露試験開始前重量と腐食生成物を除去した重量の差を測定とした。腐食生成物の除去はJIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」の参考表1に準拠して、曝露試験片を70に加熱した100g/L塩化アンモニウム水溶液に浸漬し、ナイロンブラシにて腐食生成物を擦り落とした後、湯洗乾燥し秤量した。曝露試験片(SS400, 200×100×3.2mm)のめっきの種類は、表-1に示す7種類(めっき成分を変化)で、雨水のかからない徳合川橋検査路手すりに架台を設けて設置している。



写真-1 検査路の外観

### 3. 調査結果

#### 3.1 検査路の外観および膜厚変化

3橋とも雨水のかからない上部工検査路は、表面が腐食生成物で覆われていたが、腐食生成物の下には灰黒色のめっき皮膜を確認した。雨水のかかる下部工検査路は、腐食生成物は見られず、良好なめっき皮膜を観察した(写真1)。各橋梁の測定位置における10年、13年、14年経過時点のめっき膜厚変化量を図-3に示す。雨水のかからない箇所では、

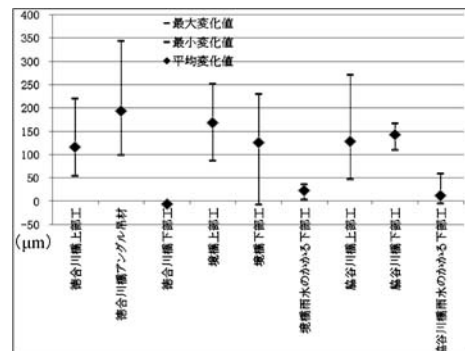


図-3 各橋梁検査路のめっき膜厚変化量

キーワード 溶融亜鉛めっき 溶融亜鉛アルミニウム合金めっき 塩害環境 耐食性能 曝露試験

連絡先 東日本高速道路(株)新潟支社上越管理事務所 新潟県上越市大字富岡字引田 1717-1 TEL:025-522-1141

腐食生成物の付着により雨水のかかる個所に比べて増加量が大きくなっている。

### 3.2 曝露試験片の調査結果

15年経過後の試験片の外観、腐食減量測定結果を表-1に、めっきの種類別の腐食減量の経時変化(1, 2, 3, 5, 10, 15年目に測定)を図-4に、1年間の腐食減量の経時変化(腐食減量の変化加量を経過年数で除した値)を図-5に示す。比較として一般的な海岸地域(四国電力宇多津変電所 瀬戸内海海岸より300m 10年間曝露)におけるZnめっきの腐食減量を示した。

のAlを3%以上添加したAl-Zn, Al-Mg-Zn合金めっきは、腐食生成物除去後の試験片において、鉄素地の露出はなく、めっき皮膜で覆われており15年経過時点で耐食性は維持されていることが確認できた。一方Znめっき、の合金めっきでは、めっき皮膜が殆どあるいは一部消失し、鉄素地が露出しており耐食性能が失われていることが確認できた。

図-4より、調査対象地区でのZnめっきは及び1%Alを添加したものは、一般海岸地域に比較して設置直後から大きな腐食減量を示している。Alを3%添加したものは、5年経過時点までは良好な耐食性を示すがそれ以降は腐食減量が多くなっている。Alを5%添加したものは、一般海岸地域で使用されているZnめっきと同等の腐食減量となり、調査対象地域のような厳しい腐食環境下でも有効な耐食性能を有していることが分かった。また、Alの添加量1~5%の範囲内では、Alの添加量が多くなると腐食減量は少なくなり耐食性能が向上することがわかった。

1年間当たりの腐食減量の変化に着目すると、5%Alを添加した合金めっきでは5年経過以降、3%以上のAlが添加された合金めっきは10年経過以降は、年間当たりの腐食減量が一定の値となり安定する傾向を示しており、急激な耐食性能の低下はないものと推測される(図-5)。

15年間の腐食減量から年間平均腐食減量を算出し、この値を用いて求めた推定耐用年数を表-1に示す。付着量はZnめっき550g/m<sup>2</sup>、合金めっき350g/m<sup>2</sup>と仮定し、めっき付着量の90%が消失した時点を経過年数と仮定した値である。あくまでも参考値であるが、Al5%以上添加した合金めっきの耐用年数が大きいことがわかる。

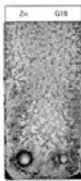
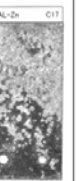
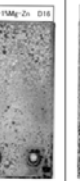
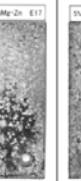
### 4. まとめ

飛来塩分環境下における曝露試験より、Al3%以上添加したZn-Al合金めっきは、Znめっきと比較して耐食性が大幅に向上する。Alの添加量1~5%の範囲内では添加量の多いほうが耐食性、耐用年数が向上する。実橋に設置した合金めっき検査路は、白色の腐食生成物で覆われているがその下にめっき皮膜が確認でき15年経過時点で十分な耐食性を維持していることが確認できた。今後とも曝露試験を継続し、データを積み重ね飛来塩分環境下におけるZn-Al合金めっきの長期耐久性について確認を行っていく予定である。

### 参考文献

- 1) 北浦, 東田他: 塩害環境下における亜鉛アルミニウム合金めっき検査路の耐食性, 第69回土木学会年次学術講演会概要集(2014.9)
- 2) 亜鉛めっき鋼構造物研究会編集: 海岸地域での溶融亜鉛めっきの耐食性(1987年)

表-1 曝露試験片(15年目)の外観、腐食減量

| めっきの種類                       | ①溶融亜鉛めっき                                                                          | ②1%Al-Zn合金めっき                                                                         | ③3%Al-Zn合金めっき                                                                      | ④5%Al-Zn合金めっき                                                                       | ⑤1%Al-1%Mg-Zn合金めっき                                                                  | ⑥3%Al-1%Mg-Zn合金めっき                                                                  | ⑦5%Al-1%Mg-Zn合金めっき                                                                  |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 外観<br>(試験片裏面)                |  |      |  |  |  |  |  |
|                              | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●試験片端部の鉄素地が露出<br>●腐食生成物除去後：殆どめっき皮膜消失。鉄素地が露出                | ●表裏面とも多くの面で鉄素地が露出<br>●鉄素地腐食上に腐食生成物が付着しためっき皮膜を確認<br>●腐食生成物除去後：めっき皮膜は消失。鉄素地が露出。腐食が激しく腐食 | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●腐食生成物除去後：健全なめっき皮膜を確認                                       | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●腐食生成物除去後：健全なめっき皮膜を確認                                        | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●試験片の一部に赤褐色の腐食生成物を確認<br>●腐食生成物除去後：健全なめっき皮膜を確認                | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●腐食生成物除去後：健全なめっき皮膜を確認                                        | ●表裏面とも全面白色の腐食生成物が付着<br>●腐食生成物除去後：健全なめっき皮膜を確認                                        |
| めっき付着量(g/m <sup>2</sup> )※1  | 777.00                                                                            | 428.87                                                                                | 285.33                                                                             | 332.87                                                                              | 368.87                                                                              | 319.00                                                                              | 391.00                                                                              |
| 暴露前重量(g)※1                   | 516.75                                                                            | 435.88                                                                                | 432.42                                                                             | 485.08                                                                              | 432.78                                                                              | 433.83                                                                              | 432.83                                                                              |
| 暴露後重量(g)※1                   | 432.32                                                                            | 428.25                                                                                | 473.68                                                                             | 491.80                                                                              | 469.45                                                                              | 475.07                                                                              | 478.76                                                                              |
| 腐食減量(g/m <sup>2</sup> )※2    | 325                                                                               | 1,392                                                                                 | 210                                                                                | 150                                                                                 | 320                                                                                 | 211                                                                                 | ??                                                                                  |
| 年間腐食減量(g/m <sup>2</sup> 年)※3 | 55                                                                                | 92                                                                                    | 14                                                                                 | 10                                                                                  | 21                                                                                  | 14                                                                                  | 5                                                                                   |
| 推定耐用年数(年)※4                  | 9                                                                                 | 3.4                                                                                   | 22.5                                                                               | 31.5                                                                                | 15                                                                                  | 22.5                                                                                | 83                                                                                  |

※1 めっき付着量。曝露試験片の重量。腐食減量は、いずれも曝露試験片3枚の平均値である

※2 腐食減量=(暴露前重量-暴露後重量)/試験片表面積(0.0417m<sup>2</sup>)

※3 年間腐食減量(g/m<sup>2</sup>年)=腐食減量(g/m<sup>2</sup>)/15(年)

※4 推定耐用年数=めっき付着量×0.9/年間腐食減量(めっき付着量：Znめっき550g/m<sup>2</sup>、合金めっき350g/m<sup>2</sup>と仮定)

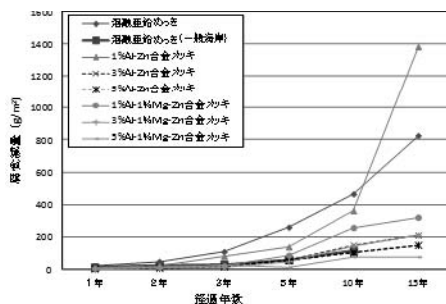


図-4 総腐食減量の経時変化

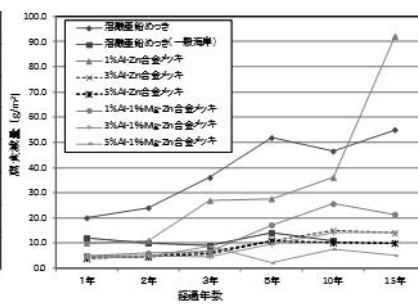


図-5 年間の腐食減量の経時変化