

# 電気めっきの防食性能評価

構造設計工学研究室 江田英輔

## 1.はじめに

橋梁支承部のボルト部は腐食しやすい部材の1つである。土砂や雨水が帯水するため、腐食環境が厳しく、締め付け時に生じる疵等により、写真1のように腐食が生じる場合が多い。現在、多くの橋梁支承部で溶融亜鉛めっきが使用されているが、高耐久化が求められている。本研究では電気めっきに着目し、耐食性、電気化学的特性、腐食形態を明らかにし、防食性能評価を行う。



写真1 橋梁支承部の腐食ボルト (溶融亜鉛めっき)<sup>1)</sup>

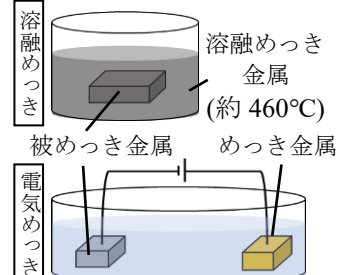


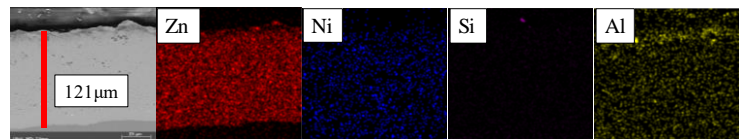
図1 めっき工法簡易図

## 2.めっきの説明

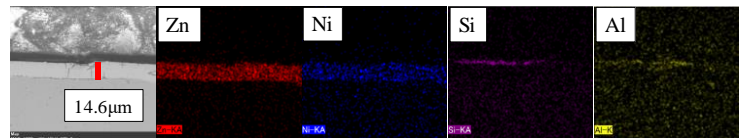
溶融めっきと電気めっきのめっき工法を図1に、各めっき鋼板の断面、元素分析を図2に示す。

溶融めっきは、溶融金属(約460°C)中に被めっき金属を浸漬し、めっきする工法である。厚膜化が容易であり、比較的厚いめっき層が成膜される。溶融めっきのA-1:溶融亜鉛めっきはZn(融点419.5°C)100%で構成している。

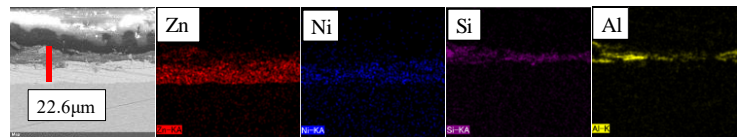
電気めっきは、被めっき金属を陰極、めっき金属を陽極とし、電気分解により析出した金属で被膜を形成する工法である。厚膜化が困難であり、比較的薄いめっき層が成膜される。電気めっき系のC-1:Zn-Ni,Si多層めっきはZn-Ni合金の電気めっきと表層にSiを有し構成しており、C-2:Zn-Ni,Si,Al多層めっきはZn-Ni合金めっきと表層にSiとAlを有し構成している。



A-1:溶融亜鉛めっき Zn=100%



C-1:Zn-Ni,Si多層めっき



C-2:Zn-Ni,Si,Al多層めっき

図2 初期状態試験体 (左から断面, 元素分析)

## 3.電気めっきボルト腐食促進試験

恒温恒湿器を用いて、乾湿繰り返しの複合サイクルによる腐食促進試験を行い、耐食性を検証した。

### 3.1 試験体と試験機器

パラメータは図3のようにボルトの頭を想定したもの、ナットを想定したもの、ボルトの締め付け時に生じる疵をグラインダーで再現したダメージの3種類で試験を行った。

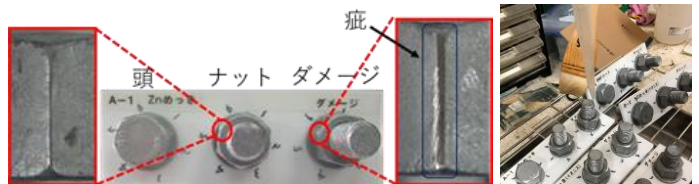


図3 パラメータ



写真2 塩水塗布

### 3.2 試験方法

湿潤を想定した温度35°C・湿度90%を2h、乾燥を想定した温度40°C・湿度50%を6hのサイクルを1サイクル(計8h)と設定し、3サイクル(24h)毎に4mlの5%massNaClをはけで均一に塗布する(写真2)。この工程を繰り返す腐食促進試験を行った。

### 3.3 試験結果

パラメータ中のダメージで最も腐食が進行したため、ダメージのみの結果を時系列で表1、試験経過状況を図4に示す。A-1は試験時間168hで白錆が発生し、336hで赤錆が発生した。C-1は672hで白錆、1680hで赤錆が発生した。C-2は840hで白錆が発生したが、3024h経過してもなお軽微な白錆を維持しており、赤錆の発生はなかった。

この結果から、C-2、C-1、A-1の順で耐食性は高いと考えられる。

表1 腐食促進試験結果

試験体	時間(h)	0	168	336	672	840	1680	2184	3024
A-1 溶融亜鉛めっきZn=100%			白錆発生	赤錆発生				撤去 (試験終了)	—
C-1 Zn-Ni,Si多層めっき					白錆発生		赤錆発生		撤去 (試験終了)
C-2 Zn-Ni,Si,Al多層めっき						白錆発生			撤去 (試験終了)

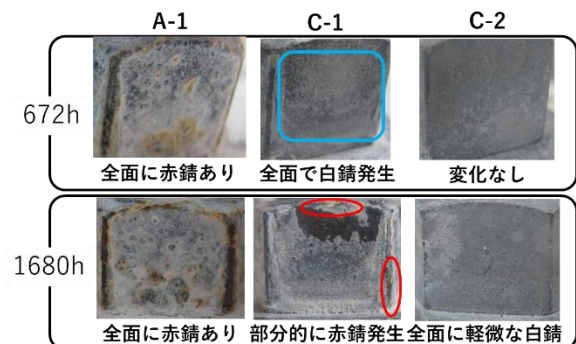


図4 腐食促進試験経過状況

#### 4.電気めっき防食性能の検証

第3章で耐食性に差異が生じた要因を自然電位試験、SEM-EDX 断面分析で検証する。

##### 4.1 ボルトナット部自然電位測定試験

電気めっきの犠牲防食作用の持続性を定量的に把握する。

###### (1) 試験方法

腐食促進試験の各経過時間でのナット部にはんだ付け、シリコンシーリングを施し、電位測定用試験体を作製した(図5)。3%massNaCl に約20分間浸漬し、参照電極の銀塩化銀電極(SSCE)、ポテンショスタットを用いて自然電位を測定した(図6)。

###### (2) 試験結果

試験結果を図7の実線に示す。A-1、C-1の犠牲防食作用低下の差異は小さいが、第3章の結果から、C-1の方が防食性能は高いと推測される。一方で、C-2は電位の貴化が緩やかであり、犠牲防食作用の持続性が高いと言える。

##### 4.2 溝あり鋼板自然電位想定試験

ボルト締め付け時に生じる疵を想定し、電気めっきの鉄素地露出による犠牲防食作用の持続性を定量的に把握する。

###### (1) 試験体

めっき鋼板にフライス盤で、幅、深さが一定の溝を形成し(図8)、電位測定用試験体を作製した(図9)。

###### (2) 試験結果

試験結果を図7の点線に示す。264h経過時点では、A-1は大きく貴化が進行し、C-1、C-2では電位が維持している。しかしながら、全体的に見ると、A-1、C-1の差異は小さく、C-2は鉄素地露出があったとしても犠牲防食作用の高度な持続性を有する。

##### 4.3 ボルトナット部 SEM-EDX 断面分析

腐食促進試験経過時におけるボルトナット部のSEM-EDX断面分析を行い、腐食形態を観察する。

###### (1) 分析方法

ボルトナット部をエポキシ樹脂で、断面分析用試験体を作製し、断面分析を行う。

###### (2) 分析結果

分析結果を図10に示す。A-1は、めっき上部に腐食生成物があるため、Znの犠牲防食作用が働くと考えられる。電気めっきには、Zn-Ni合金上部に腐食生成物が見られ、Znの犠牲防食作用とNi富化による保護皮膜作用<sup>2)</sup>が働くと考えられる。加えて、C-2にAl酸化被膜が存在していることが、耐食性に寄与していると考えられる。

#### 5.結論

- 1) 電気めっきの耐食性は溶融亜鉛めっきより高く、C-2がより高度な耐食性を有する。
- 2) A-1・C-1の犠牲防食作用の低下は同等であり、C-2は犠牲防食作用の高度な持続性を有する。
- 3) 電気めっきはZnの犠牲防食作用とNi富化による保護被膜作用で高度な防食性能を有する。加えて、電気めっきはAlを含有すると、防食性能が向上すると推測する。

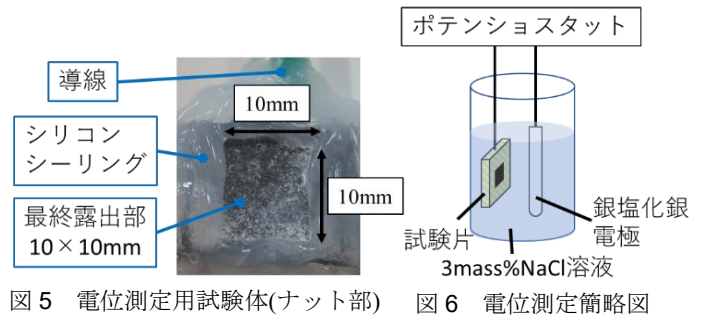


図5 電位測定用試験体(ナット部) 図6 電位測定簡略図

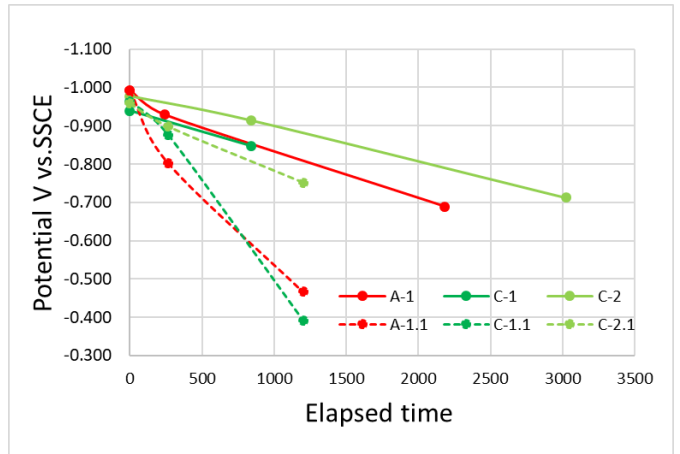


図7 自然電位測定試験結果(実線;ナット部,点線;溝あり鋼板)

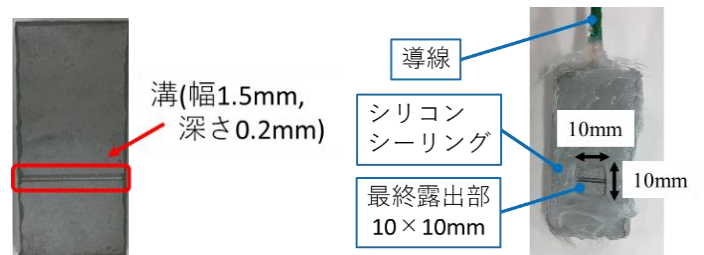
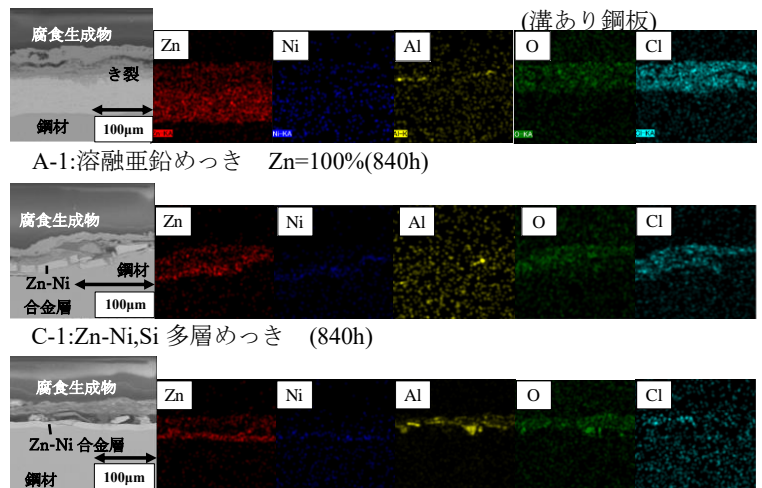


図8 溝あり鋼板

図9 電位測定用試験体(溝あり鋼板)



C-2:Zn-Ni,Si,Al 多層めっき (840h)

図10 SEM-EDX 断面分析

#### 参考文献

- 1) 日本支那協会:支那の設計から管理までの課題・留意点・補修事例,土木学会, 2015
- 2) 渋谷敦義・栗本樹夫・是川公毅・野路功二: Ni-Zn合金電気めっき鋼板の耐食性,鉄と鋼, 1980