

鋼橋におけるめっき・溶射材料への塗装による防食性向上手法

坂本 達朗*

Method for Improving Corrosion Protection by Paint Coating over Metal Layer with Plating and Thermal Spraying Materials on Steel Bridges

Tatsuro SAKAMOTO

Steel bridges are generally coated to control the progression of corrosion. Since the corrosion resistance of paint coating tends to decrease with age, a method has been proposed in which a metal coating such as plating or thermal spraying is used as a base coat and then painted over metal coating. However, there are few cases in which the long-term durability of cases using this method has been evaluated. Therefore, in order to understand the long-term durability of combination of various metal coatings and paint coatings, we investigated the deterioration of metal coating under the paint coating on specimens exposed for about 40 years. Furthermore, accelerated degradation tests using newly prepared specimens were conducted to evaluate the long-term durability of metal coating with damage reaching bare metal.

キーワード：鋼橋，腐食，塗膜，めっき，溶射，耐久性

1. はじめに

鋼橋などの屋外鋼構造物を長期間供用する場合、鋼材の腐食による安全性の低下が懸念される。このため、一般には塗料を用いた塗装による防食が行われている。

塗料には様々な材料が配合されており、油脂や樹脂として一般に有機化合物が使用されている。有機化合物は環境因子との化学反応によって加水分解や酸化などを生じて脆化・劣化するため、塗装によって形成される塗膜の防食性は経年とともに低下する可能性がある。このため、塗装単独よりも長期間の耐久性が期待できる手法として、金属めっきや金属溶射といった金属材料（以下、金属皮膜とする）を下地として、塗装を併用する手法が提案されている。

金属皮膜には鋼材よりも腐食しやすい金属が用いられており、これをめっきや溶射によって鋼材表面に被覆させることで犠牲防食作用により鋼材を防食する。環境因子の作用による金属皮膜自体の腐食は塗装を施すことによって防ぐことができるため、金属皮膜に塗装を組み合わせることにより、各々の材料を単独で使用する場合と比較して鋼材を長期間防食できると考えられる。

このような金属皮膜に塗装を組み合わせた防食工法は、これまでに多くの施工実績を有する¹⁾²⁾。ただし、金属皮膜と塗装にはそれぞれ複数の種類が存在し、材料の組み合わせは多岐におよぼほか、同防食工法の長期間の耐久性を評価した事例は多くない。

そこで筆者らは、金属皮膜に塗装を組み合わせた複数

の防食工法の長期耐久性の把握を目的として、約40年間暴露された試験片の劣化状態を調査した。また、鋼材まで達する損傷が生じた際の長期耐久性を評価するため、新規に試験片を作製して促進劣化試験を行った。

2. 暴露試験片の調査

本稿で調査した暴露試験片は、日本ウエザリングテストセンター銚子暴露試験場で約40年間暴露されていたものである³⁾。当該試験場はISO 9223 Corrosion of metals and alloys -Corrosivity of atmospheres- Classification, determination and estimationに記載される腐食性カテゴリC4に相当し、日本国内では比較的腐食性の高い環境に該当するとの報告がある⁴⁾。

ここでは各試験片における塗膜の変状程度を調査するとともに、塗膜下の金属皮膜材料の状態を把握するため、健全と考えられる塗膜下については非破壊での電気化学的手法により評価し、塗膜割れを生じた箇所については断面観察および組成分析により評価した。

2.1 暴露試験片の概要

試験鋼板は寸法300×150×3.2mmの冷間圧延鋼板(SS400)であり、皮膜厚や材質(亜鉛、アルミニウム、亜鉛-アルミニウムの合金)の異なる3種類の溶融めっきまたは5種類の金属溶射を適用後に種々の塗装仕様が施されたものを試験片とした。本稿では、屋外鋼構造物用の塗装仕様である6種類の塗装仕様(以下、塗装仕様C1~C6と呼ぶ)を適用した計48種類の試験片を調査対象とした。各試験片の金属皮膜および塗装仕様の概

* 材料技術研究部 防振材料研究室

表1 各試験片の金属皮膜の概要

溶融めっき			金属溶射		
記号	皮膜の金属種	膜厚(μm)	記号	皮膜の金属種	膜厚(μm)
G1	Zn	80	M1, M2	Zn	40 (M1), 80 (M2)
G2	Zn (99.995%), Al (0.005%)	80	M3, M4	Al	40 (M3), 80 (M4)
G3	Al	80	M5	Zn (70%), Al (30%)	80

表2 各試験片の塗装仕様の一覧

記号	塗料名と目標塗膜厚(それぞれ上段と下段、膜厚の単位は μm)				
	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
C1	JIS K 5633:1972 イッチングプライマ 1種	JIS K 5627:1972 ジンクロメートさび止め ペイント 2種	JIS K 5627:1972 ジンクロメートさび止め ペイント 2種	JIS K 5616:1972 合成樹脂調合ペイント 2種中塗り用	JIS K 5616:1972 合成樹脂調合ペイント 2種上塗り用
	<10	35	35	30	25
C2	JIS K 5633:1972 イッチングプライマ 1種	フェノール樹脂塗料 ジンクロメートプライマ	フェノール樹脂 MIO 塗料	フェノール樹脂 MIO 塗料	フェノール樹脂 MIO 塗料
	<10	35	50~60	50~60	50~60
C3	エポキシ樹脂塗料 プライマ(ミストコート)	エポキシ樹脂塗料 プライマ	エポキシ樹脂塗料 プライマ	エポキシ樹脂塗料 中塗り用	エポキシ樹脂塗料 上塗り用
	<10	60~80	60~80	30~50	30~50
C4	エポキシ樹脂塗料 プライマ(ミストコート)	ウレタン樹脂塗料 プライマ	ウレタン樹脂塗料 プライマ	ウレタン樹脂塗料 中塗り用	ウレタン樹脂塗料 上塗り用
	<10	50~70	50~70	30	30
C5	JIS K 5633:1972 イッチングプライマ 1種	塩化ゴム塗料 プライマ	塩化ゴム塗料 プライマ	塩化ゴム塗料 中塗り用	塩化ゴム塗料 上塗り用
	<10	40~60	40~60	30	25
C6	JIS K 5633:1972 イッチングプライマ 1種	厚塗り型ビニル樹脂 塗料プライマ	厚塗り型ビニル樹脂 塗料プライマ	ビニル樹脂塗料 中塗り用	ビニル樹脂塗料 上塗り用
	<10	80~100	80~100	40	20

注: <10 は目標塗膜厚が 10μm 以下であることを示す。

要を表1, 表2に示す。以下, 試験片記号として, (金属皮膜の記号) - (塗装仕様の記号) で示す。なお, 塗装仕様 C2~C6 は当時長期耐久性を有するとして提案された塗装仕様であり, 塗装仕様 C1 は比較用の塗装仕様である。

試験片の暴露条件は JIS K 5400:1970「塗料一般試験方法」に規定された条件(正南面, 傾斜角度 30 度)である。1973 年 7 月に暴露が開始され, 2013 年 1 月に現存する全ての試験片を回収した。

回収した試験片には, 暴露前に導入されたクロスカットと, 暴露中に行われた付着性評価試験の補修箇所が確認された。回収した試験片の外観の一例を図1に示す。

なお, 暴露開始時点において無塗装の各種金属皮膜も同時に暴露されており, これらは約 10 年で全ての金属皮膜で腐食が生じていることが確認されている⁵⁾。



図1 暴露から回収した試験片の一例

2.2 塗膜の健全性評価

塗膜の健全性は, 外観調査, ピンホール検査および塗膜のインピーダンスの測定結果から評価した。外観調査では割れの発生程度を3段階に区分し, 割れが無い場合に塗膜が健全と評価した。ピンホール検査では塗膜表面を湿潤状態のプロープで走査した際にピンホールが存在すると導通することから, 導通の頻度を3段階に区分し, 導通していない場合に塗膜が健全と評価した。インピーダンスの測定には LCR メータを用いた。測定条件は, 塗膜側の電極径を φ30mm, 印加電圧を 1V, 測定周波数を 2~100kHz とした。電極が接触する塗膜には 3wt%NaCl 水溶液を含浸した φ30mm のスポンジを約 24 時間接触させた。このとき, 本稿の塗装仕様のような複合塗膜の周波数 2Hz におけるインピーダンスは概ね 10⁶Ω 以上である⁶⁾。そこで, 周波数 2Hz におけるインピーダンスが 10⁶Ω 以上の場合に塗膜が健全と評価した。

2.3 塗膜下の金属皮膜の状態評価

2.3.1 健全な塗膜下の評価方法

健全と評価した試験片に対して, インピーダンスの測定と同一の電極を用いてカレントインタラプタ法による電気化学的測定を行った。カレントインタラプタ法とは微小電流の印加により塗膜下の金属の腐食状況を評価可能な手法とされており⁷⁾, 測定される塗膜の分極抵抗が

ら塗膜下の金属皮膜の腐食状態を評価した。

2.3.2 割れを生じた箇所の塗膜下の評価方法

塗膜割れを生じた箇所については断面観察および元素分析を行い、塗膜/金属皮膜間における金属皮膜の状態を評価した。切断面は鏡面仕上げとし、元素分析には電子プローブマイクロアナライザー（EPMA）による波長分散形 X 線分光法を用いた。

2.4 調査結果と考察

2.4.1 塗膜の健全性評価

各種試験での測定・評価結果を表3に示す。ここで、網掛け箇所は2Hzにおけるインピーダンスが $10^6\Omega$ 未満であることを示している。塗装仕様C1を適用した試験片、および塗装仕様C5を適用した大半の試験片において、塗膜割れによるものと考えられる外観変状またはピンホールの発生が確認された。塗装仕様C2ではフェノール樹脂MIO塗膜の顔料が露出しており、塗膜状態を視認することが困難だったが、ピンホール検査では多数の導通が確認されたことから、塗膜割れを生じていることが推定された。また、塗装仕様C4、C6を適用した試験片はいずれも外観変状やピンホールの発生は確認されなかった。これより塗装仕様が同一の場合、金属皮膜の種類に関わらず類似した塗膜変状が生じる傾向にあることを確認した。

一方、塗装仕様C3を適用した試験片についてはピンホールが発生する場合としない場合が確認された。当該仕様は紫外線に対して脆弱なエポキシ樹脂塗料で仕上げられていることから、経年により塗膜が消耗し、初期から膜厚の小さな箇所でピンホールが生じたと推定される。

なお、外観調査またはピンホール検査で健全と評価されなかった試験片はいずれも周波数2Hzでのインピーダンスが $10^6\Omega$ 未満となった。このように、外観調査と

ピンホール検査における塗膜の健全性の評価は、インピーダンス測定における塗膜の健全性の評価と一致した。

2.4.2 健全な塗膜下の評価

塗膜が健全と評価した試験片、すなわち表3の網掛けしていない試験片に対してカレントインタラプタ法での測定を行った。その結果、いずれの試験片においても分極抵抗が $10^9\sim 10^{12}\Omega$ となった（表3）。先行研究において、分極抵抗が $5.5 \times 10^6\Omega$ 以上の場合には塗膜下での腐食は生じていないとの測定結果がある⁸⁾。このことから本試験においても、健全と評価した塗膜の下では金属皮膜および鋼材の腐食は生じていないと推定される。

2.4.3 金属皮膜の組成分析

分析対象の試験片は、全ての試験片で塗膜割れを生じている塗装仕様C1を主体とした。ただし一部の溶融めっき（G1、G2）を適用した試験片は現存していないため、当該の金属めっきを適用した試験片については、塗膜割れを生じていたG1-C5およびG2-C5を分析対象とした。

分析結果を図2に示す。ここでは、鉄（Fe）、亜鉛（Zn）、アルミニウム（Al）、酸素（O）の各元素マッピングを示している。塗膜中には亜鉛や酸素を含む材料が含まれており、当該の元素マッピングでも塗膜部分が青色になっている。この色相から塗膜割れの形状が確認でき、各試験片の塗膜割れは金属皮膜まで達していることが分かる。図中には塗膜割れを生じた箇所を点線で囲った。これをみると、M1-C1およびM2-C1では鋼素地の分析範囲がわずかではあるものの、いずれの試験片とも鋼素地に該当する箇所で酸素が検出されていない。従って塗膜割れを生じた場合でも鋼材は腐食に至らないと考えられる。

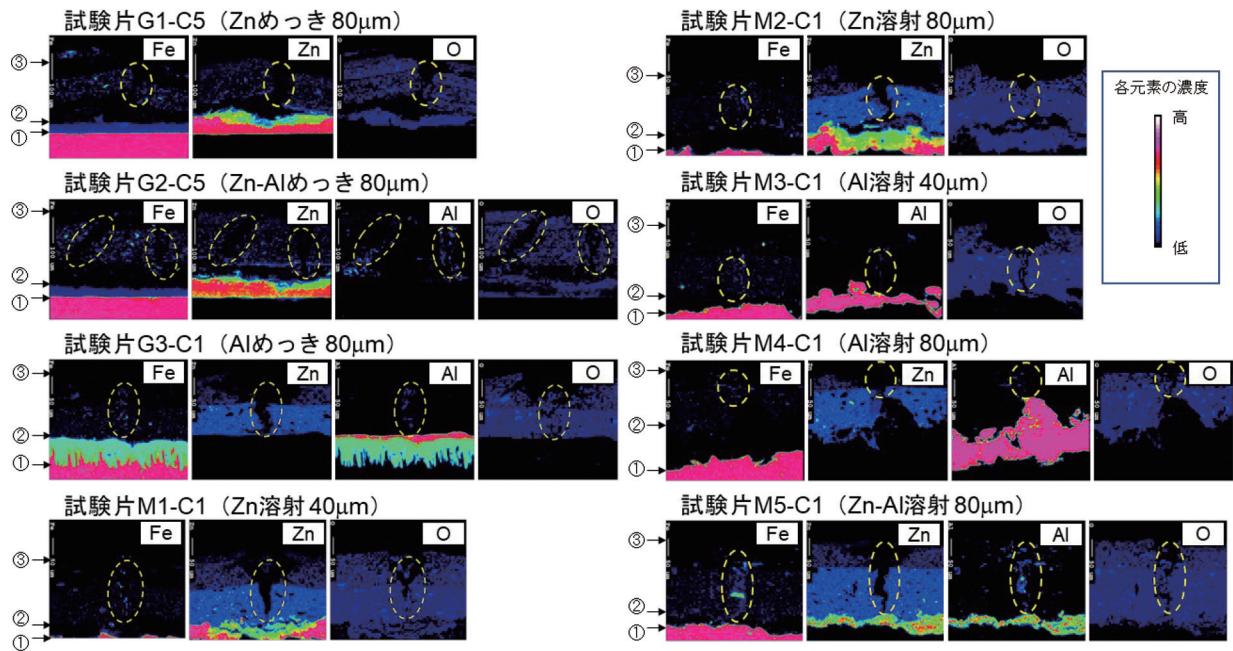
続いて、亜鉛を主体とする溶融めっきおよび溶射皮膜を適用した試験片（G1-C5、G2-C5、M1-C1、M2-C1）では、塗膜割れ近傍における金属皮膜について、亜鉛の元素マッピングの色相が変化しており、元素の濃度低下、すなわち金属皮膜の腐食が確認された。一方で、アルミニウムめっき、アルミニウム溶射、亜鉛-アルミニウム溶射を適用した試験片（G3-C1、M3-C1、M4-C1、M5-C1）では、塗膜が被覆する箇所と塗膜割れのそれぞれの直下における金属皮膜について、アルミニウムや亜鉛の元素マッピングの色相は同一であった。したがって、塗膜割れの有無にかかわらず金属皮膜の組成は大きく異なっていない。これより、本試験片の暴露環境では塗膜変状を生じていても、アルミニウムを用いた金属皮膜では腐食を生じにくく、亜鉛を用いた場合には塗膜変状箇所の直下で金属皮膜の腐食を生じることがわかった。この要因の一つに、アルミニウムは亜鉛と比較して不動態皮膜を形成しやすく、皮膜が腐食しにくいことが挙げられる。

なお、いずれの金属皮膜においても塗膜に割れが生じ

表3 各種試験での測定・評価結果

金属皮膜			塗装系						
種別	金属種	記号	項目	C1	C2	C3	C4	C5	C6
溶融めっき	Zn	G1	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)		●/△			△/△	○/○
	Zn-Al	G2	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)		●/×			△/△	○/○
	Al	G3	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	×/×	●/△				○/○
金属溶射	Zn	M1	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	×/×	●/×	○/○	○/○	○/○	○/○
	Zn	M2	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	△/△	●/△	○/△	○/○	△/○	○/○
	Al	M3	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	×/△	●/×			△/○	○/○
	Al	M4	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	×/×	●/×	○/△	○/○	△/△	○/○
	Zn-Al	M5	外観/ピンホール検査 分極抵抗 (log)	△/△	●/×	○/○	○/○	△/△	○/○

注1：斜線箇所は腐食による暴露中止などで試験片が現存していないことを示す。
 注2：外観での割れの分類は以下の通り。○（割れ無し）<△<×（全面での割れ）
 注3：外観における●はフェノール樹脂MIO塗膜の顔料が露出していて塗膜状態の評価が困難であることを示す。
 注4：ピンホール検査での分類は以下の通り。○（導通無し）<△<×（全面で導通）
 注5：網掛け箇所は2Hzにおけるインピーダンスが $10^6\Omega$ 未満であることを示す。
 注6：分極抵抗におけるハイフンは、測定を実施していないことを示す。



注：黄色の点線は塗膜割れの箇所を示し、①～③は次に述べる各材料の表面の位置を示す。①…鋼材 ②…金属皮膜 ③…塗装仕様

図2 各試験片のEPMA分析結果

ていない箇所では金属皮膜の腐食は確認されないことから、前述したように無塗装の各種金属皮膜は約10年で腐食を生じたことを考慮すると、金属皮膜に塗装することで長期耐久性の向上が期待できると考えられる。

3. 新規に作製した試験片の促進劣化試験

外力によって鋼材まで達する損傷を受けた場合の金属皮膜および塗膜の挙動は、暴露試験片に施されたクロスカット部分の調査から評価可能と考えられる。しかしながらその切削方法に関する記録が無く、断面観察などの調査を実施した結果、損傷部の耐久性を十分に評価することができなかった⁹⁾。そこで本稿では新規に損傷部（以下、スクラッチとする）を設けた試験片を作製して金属皮膜の挙動を評価した。スクラッチの切削方法はISO 20340 Paints and varnishes -Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures- に規定される方法を採用し、複合サイクル試験によって各仕様の試験片の耐久性を評価した。

3.1 新規試験片の概要

試験鋼板は寸法150×70×3.2mmのSS400または溶融亜鉛めっき鋼とした。金属溶射の試験片は、金属溶射への塗装仕様が記載されている鋼道路橋防食便覧¹⁰⁾を参考にして、3通り（亜鉛、アルミニウムまたは亜鉛-アルミニウム擬合金）の金属溶射に対して規定の塗装仕様を適用した。なお、金属溶射皮膜の膜厚はいずれも約150μmとした。金属めっきの試験片は、JIS H 8641「溶

表4 新規に作製した試験片の塗装仕様

記号	MS-1	MS-2	MS-3	GS-1	PS-1
概要	金属溶射+塗装			金属めっき+塗装	塗装系のみ
鋼材種	SS400			溶融亜鉛めっき鋼 JIS H 8641 HDZT 77	SS400
素地調整	プラスト処理 ISO Sa 2 1/2 以上			スウィーププラスト処理 ISO Sa 1 程度	プラスト処理 ISO Sa 2 1/2 以上
金属皮膜 ^{注1}	擬合金 常温金属 溶射 ^{注2} Zn-Al系	Al 溶射	Zn 溶射	溶融亜鉛めっき	有機ジンクリッチプライマ
封孔処理	エポキシ樹脂系 封孔処理剤			-	-
1層目	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料 スプレー540g/m ²			亜鉛めっき面用変性エポキシ樹脂系塗料下塗 スプレー200g/m ²	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料 スプレー350g/m ²
2層目	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 スプレー160g/m ²			ポリウレタン樹脂塗料用中塗 スプレー160g/m ²	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料 スプレー350g/m ²
3層目	ポリウレタン樹脂塗料上塗 スプレー140g/m ²			ポリウレタン樹脂塗料上塗 スプレー140g/m ²	水系ポリウレタン樹脂塗料上塗 スプレー140g/m ²

注1：溶射皮膜の厚みは、いずれも約150μmである。
注2：亜鉛とアルミニウムの質量比はZn:Al=72:28である。

融亜鉛めっき」に規定されるHDZT 77の溶融亜鉛めっき鋼板に対して鋼構造物塗装設計施工指針¹¹⁾に記載の塗装仕様を適用したものとした。塗装仕様だけの試験片は、鋼構造物塗装設計施工指針に記載される長期耐久型塗装仕様であるL-2をベースとし、有機ジンクリッチプライマを適用した仕様とした。各試験片の塗装仕様の一覧を表4に示す。以下、本表に示す記号に従って試験片を示す。

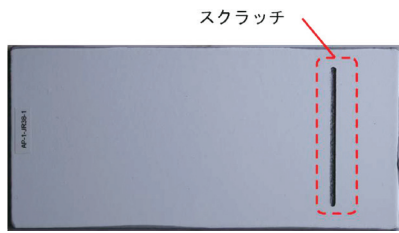


図3 鋼材までスクラッチを施した試験片の一例

表5 鉄道総研式複合サイクル試験条件¹¹⁾

工程	試験名	試験時間	次の工程
1	オゾン暴露	12h	2
2	人工海水噴霧	4h	3
3	模擬濃縮雨水噴霧	44h	4
4	乾燥	48h	2

工程1	↓	2時間以内	工程2
工程2	↓	20分以内	工程3
工程3	↓	15分以内	工程4
工程4	↓	20分以内	工程1

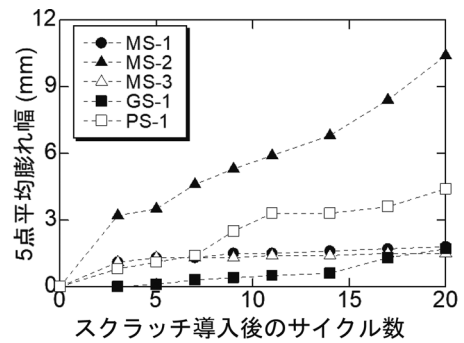
スクラッチの切削方法はISO 20340の複合サイクル試験方法に準じ、エンドミルを用いた機械的切削によって寸法50×2mmのスクラッチを導入した。このとき金属皮膜の損傷程度による防食性の違いを評価するため、塗膜のみを切削して金属皮膜を露出させた場合と塗膜および金属皮膜を切削して鋼材を完全に露出させた場合の2通りのスクラッチを導入した。図3は鋼材までスクラッチを施した新規試験片の外観を示す。なお、PS-1については金属皮膜に該当する有機ジンクリッチプライマの膜厚が20μm以下と非常に小さいため、塗膜のみの切削は行わなかった。

3.2 室内促進劣化試験

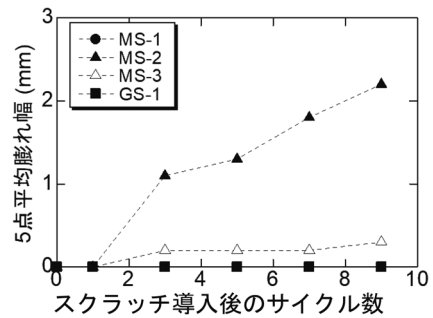
室内促進劣化試験には、複合塗膜の耐久性評価試験方法として用いられる鉄道総研式複合サイクル試験を適用した¹¹⁾。本サイクル試験の試験条件を表5に示す。塗装仕様の耐久性は、スクラッチ部およびそれ以外の箇所（一般部と呼ぶ）の塗膜変状程度から評価した。このときスクラッチ部については、スクラッチ部から生じる塗膜膨れの膨れ幅を大きな順に5つ測定し、その平均値に基づいて塗装仕様の耐久性を評価した。

3.3 試験結果と考察

一般部については、いずれの仕様においても塗膜の変状は確認されなかった。続いてスクラッチ部の評価結果については図4に示す塗膜膨れ幅を用いて述べる。塗膜鋼材が露出するまでスクラッチを導入した場合、20サイクル経過した段階においても、金属皮膜に亜鉛を用いた試験片（MS-1、MS-3、GS-1）では塗膜膨れが2mm以下であるのに対して、アルミニウム溶射皮膜を適用し



(a) 鋼材が露出するまでスクラッチを導入した場合



(b) 塗膜のみスクラッチを導入した場合

図4 スクラッチ部の塗膜膨れ幅

た試験片（MS-2）では約10mm、塗装仕様のみの試験片（PS-1）では約4mmの塗膜膨れが生じた（図4(a)）。なお、いずれの試験片でも膨れ内部は金属皮膜の腐食生成物で充填されていた。この結果から、スクラッチからの膨れ程度から塗膜の耐久性を評価する場合、金属皮膜を適用した塗装仕様はアルミニウム溶射皮膜を除き、従来の塗装仕様よりも高い耐久性を期待できることが分かった。

塗膜のみを切削して金属皮膜が露出するまでスクラッチを導入した場合、鋼材が露出した場合と類似の傾向が認められ、アルミニウム溶射皮膜を適用した試験片（MS-2）に最も大きな塗膜膨れが生じた（図4(b)）。ただし、いずれの試験片においても同サイクル数で比較した場合の塗膜膨れの大きさは鋼材が露出するまでスクラッチを導入した場合と比較して遥かに小さくなることが分かった。

前章で述べた暴露試験や、過去に報告された沿岸部での各種溶射皮膜の暴露試験結果¹²⁾では、アルミニウムの金属皮膜の方が亜鉛のものよりも良好な耐食性を示しており、本稿の促進劣化試験結果と異なる。この要因について、スクラッチの形状から考察した。

暴露試験や文献12における金属皮膜の腐食は塗膜/金属皮膜間、すなわち金属皮膜の表面で生じており、鋼材を介さない電気化学的反応による腐食と考えられる。この場合、金属皮膜の表面状態が重要となり、不動態皮膜を形成しやすいアルミニウムが高い耐久性を示したと

推定される。一方で、室内促進試験における塗膜膨れ（金属皮膜の腐食による変状）の発生箇所は、完全に鋼材が露出したスクラッチ近傍であり、露出した鋼材に対して金属皮膜が犠牲防食作用を生じたと考えられる。

また、当該試験環境下で主に生じると考えられる不溶性の腐食生成物は、亜鉛の場合には塩基性炭酸亜鉛、アルミニウムの場合には水酸化アルミニウムであり、両金属が同一モル数で腐食すると水酸化アルミニウムの方が大きな体積膨張を示す。このため、電極電位の違いに伴う両金属の犠牲防食作用の程度や、腐食生成物の物理的／化学的性状の違いなどにより、鋼材が露出するまでスクラッチを導入した試験片ではアルミニウム溶射を用いた金属皮膜で大きな膨れを生じたことが推定される。また、塗膜までスクラッチを導入した試験片では腐食生成物の物理的／化学的性状の違いにより、アルミニウム溶射を用いた金属皮膜において、わずかではあるものの大きな膨れを生じたことが推定される。

また、金属溶射を用いた場合については、皮膜が多孔質のために溶射後に適用される封孔処理剤の充填程度も影響した可能性がある。空隙が連続的でない場合には封孔処理剤が影響せず、空隙が残ることになる。本試験のように鋼材までスクラッチを導入した場合、このような空隙の残存する箇所、すなわち表面積が比較的大きい部分が露出するため、金属皮膜が腐食しやすくなったことが推定される。ただし、この推定の妥当性は本試験から明らかにすることはできなかったため、今後の検討課題としたい。

4. まとめ

金属皮膜と塗装を組み合わせた防食工法の長期耐久性の把握を目的として、約40年間暴露した試験片の塗膜変状箇所の調査および断面分析を行った。また、外力によって損傷を受けた場合の金属皮膜および塗膜の挙動を評価するため、新規に作製してスクラッチを導入した試験片を室内促進劣化試験に供して、従来の塗装仕様との耐久性比較を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 暴露試験片について、外観およびインピーダンス測定から健全と考えられる塗膜下では、カレントインタラプタ法での分極抵抗測定や断面分析から、金属皮膜および鋼材に腐食を生じていないと考えられる。
- (2) 暴露試験片について、塗膜割れを生じた箇所の直下では、亜鉛を用いた金属皮膜のみ腐食が見られる。
- (3) 新規に作製した試験片では、金属溶射にアルミニウムを用いた仕様において、スクラッチが金属皮膜または鋼材まで達した場合に金属皮膜の腐食が比較的早期に生じる。ただし、それ以外の組み合わせにおいては大きな変状は確認されない。

- (4) 以上の結果と、無塗装の各種金属皮膜が暴露から約10年で腐食を生じたことを考慮すると、金属皮膜に塗装処理を施すことで長期耐久性の向上が期待できると考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、日本ウエザリングテストセンターおよび長期防錆対策研究会の関係各位に多大なご助言およびご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

文 献

- 1) 宮川等, 安田扶律, 植野軍二: 鋼構造物へのアルミニウム溶射施工事例について, 防錆管理, Vol.32, No.5, pp.139-153, 1988
- 2) 大庭哲也, 前田博, 富山禎仁, 守屋進: 腐食環境の厳しい場所(沖縄地区)における鋼構造物試験体溶射施工部の耐久性確認試験, 防錆管理, Vol.57, No.5, pp.173-179, 2013
- 3) 坂本達朗, 太田達哉, 高根由光, 紺野晃弘, 桑原圭介, 後藤宏明, 山本基弘, 江成孝文, 橋本康樹, 藤井忠彦, 木村武久, 真田祐介: 塗装した金属溶射又は金属めっき試験片の長期耐久性評価のための基礎検討, 防錆管理, Vol.57, No.12, pp.443-450, 2013
- 4) (財)日本ウエザリングテストセンター, 大気暴露試験ハンドブック [II] 金属編, 2007
- 5) 瓜谷昭夫, 関雅雄, 伊藤哲司: 金属被覆塗装材料の耐候性について, 耐候性の標準化に関する調査研究成果発表会, p19-30, 1983
- 6) 水場翔大, 富山禎仁, 宮田敦士, 佐野真, 増田清人: 鋼道路橋用防食塗膜の電気化学的測定, 材料と環境, Vol.67, No.7, pp.287-291, 2018
- 7) 松本剛司, 新内敏和, 関根功: 走査型超音波顕微鏡およびカレントインタラプタ法による防食塗膜の劣化評価, 材料と環境, Vol.58, No.1, pp.29-32, 2009
- 8) 岩瀬嘉之: 耐久・防食講座(第6講) 塗膜診断による鋼構造物の維持管理, 色材協会誌, Vol.88, No.3, pp.85-89, 2015
- 9) 太田達哉, 坂本達朗, 高根由充, 紺野晃弘, 桑原圭介, 塚平博之, 江成孝文, 橋本康樹, 山本基弘, 藤井忠彦, 岡浩司, 大澤隆英: 塗装した金属溶射皮膜および金属めっき皮膜の約40年暴露後の皮膜特性評価, 防錆防食技術発表大会講演予稿集, Vol.34, pp.83-88, 2014
- 10) (公社)日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 2014
- 11) (公財)鉄道総合技術研究所: 鋼構造物塗装設計施工指針, 2013
- 12) 大柴雅紀, 松野英則, 近藤照夫, 長屋五郎, 奥野真司: 金属溶射材料の種類と防食機構, 防錆防食技術発表大会講演予稿集, Vol.28, pp.75-78, 2008