

ISSN 0913-6398

Bōsei Bōshoku Gijutyu Happyō

Taikai Kōen Yokōshū

# 第34回 防錆防食技術発表大会

## 講演予稿集

平成26年7月10日(木)・11日(金)

東京・ゆうぽうと

一般社団法人 **日本防錆技術協会**

## 第 34 回 防錆防食技術発表大会講演予稿集

---

平成 26 年 7 月 1 日 発行

一般社団法人 日本防錆技術協会  
〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目5番8号  
機械振興会館309号  
電話 (03) 3434-0451  
FAX (03) 3434-0452

中部支部 愛知県刈谷市恩田町1-157-1  
あいち産業科学技術総合センター産業技術センター内  
〒448-0013 電話 0566-24-1841

関西支部 大阪府和泉市あゆみ野2-7-1  
大阪府立産業技術総合研究所内  
〒594-1157 電話 0725-51-2527

沖縄支部 沖縄県うるま市字州崎12-2  
沖縄県工業技術センター内(沖縄県溶接協会気付)  
〒904-2234 電話 098-052-1597

---

# 金属粉を含有するシリコーン樹脂防錆塗料を

## 防食下地に用いた防錆塗装工法の性能評価

(株)シールドテクス ○砂田正明 小林和夫  
三菱重工鉄構エンジニアリング(株) 鈴木俊光

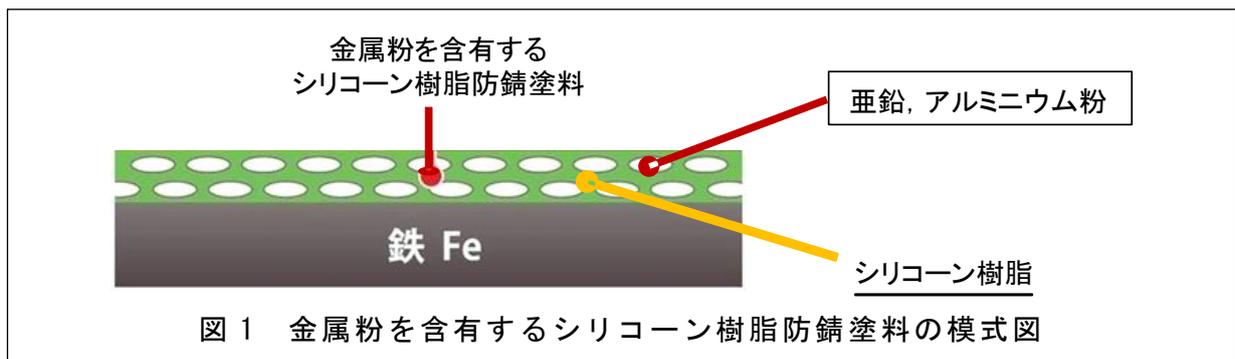
### 1. はじめに

橋梁，鉄塔，プラント施設等の鋼構造物の高耐久化，長寿命化は，社会資本の維持管理費用の削減につながり，ひいてはライフサイクルコスト（以下，LCC と略記）の低減に直結することから，今後も我が国にとって喫緊の課題であることは間違いない。

現在，こうした鋼構造物の防食，防錆工法には，塗装，熔融亜鉛メッキ，溶射等が用いられており，中でも塗装は，特別な設備，器具を必要とせず，施工が簡便で，かつ現場において補修，塗替えが容易であるという特徴から多用されている。

上記の様な特長を有する塗装の中でも，第 1 層の防食下地にジンクリッチペイントを適用することが特徴の 1 つである重防食塗装は，新設塗装に対する耐久性（防食性能と耐候性能）が厳しい腐食環境で 30 年以上であり<sup>3)</sup>，鋼構造物の高耐久化，長寿命化にマッチした塗装工法として多く用いられている。特に平成 17 年に鋼道路橋塗装・防食便覧にて規定された新規塗装仕様の一般外面塗装系 C-5 塗装系（以下，C-5 と略記）は，塩害部での耐久年数が 32 年<sup>4)</sup>とあり，重防食塗装の代表的な工法として広く活用されている。C-5 は，第 1 層の防食下地の無機ジンクリッチペイント塗膜の空隙をミストコートと呼ばれる低粘度化したエポキシ樹脂系塗料で封孔し，これにエポキシ樹脂系塗料，ふっ素樹脂系塗料を合計 3 層塗り重ねることで水分，塩分，酸素等の発錆要因の鉄基材への侵入を防ぎ，併せて塗膜の耐紫外線性を向上させる設計となっている。重防食塗装は，上記の様な施工上の利点を有し，高い耐久性を実現する一方で，例えば C-5 では，塗装層数が合計 5 層になり，塗装時には主剤と硬化剤の 2 液を配合する上，シンナーを加えると 3 液配合となるので作業に手間と時間を要する。

この他の代表的な防食，防錆工法としては，熔融亜鉛メッキと金属溶射があるが，熔融亜鉛メッキは，熔融した亜鉛に鋼材を浸漬することで鋼材表面に亜鉛の皮膜を形成する工程により施工するため，特定の工場のみでしか加工が出来ず，鋼材を浸漬する槽は鋼材に適合した大きさのものが必要となり，加えて鋼材の製造地と加工地，施工現場が遠く離れている場合には，運送に多大な手間とコストが必要となる場合がある。また，金属溶射は，熱により軟化した金属を対象構造物に吹き付け，表面に皮膜を形成する工法であるが，熔融亜鉛メッキと異なり施工する鋼材の大きさに制限はないものの，小さな曲率半径や複雑な形状を持つ部材や狭隘部への施工，補修が難しいケースがある。



そこで筆者らは、既存の防食、防錆工法の内、最も一般的な塗装に着目し、その代表的な工法である C-5 について高耐久化、長寿命化を図ることを試みた。具体的には、第 1 層の防食下地を無機ジンクリッチペイントからシリコン樹脂と犠牲陽極作用を示すことが知られている亜鉛粉、アルミニウム粉から成る金属粉を含有するシリコン樹脂防錆塗料（以下、本シリコン樹脂防錆塗料と略記：図 1 参照）へ置き換えることにより金属粉を含有するシリコン樹脂防錆塗料を防食下地に用いた防錆塗装工法を開発することである。本報では、その性能評価を行ったため、以下の様に報告する。

## 2. 防錆性能比較評価試験

金属粉を含有するシリコン樹脂防錆塗料を防食下地に用いた防錆塗装工法の性能評価に先立ち、本シリコン樹脂防錆塗料と C-5、そして C-5 の塗り替え補修用工法である Rc-I 塗装系<sup>5)</sup>（以下、Rc-I と略記）の第 1 層の防食下地である無機ジンクリッチペイント、有機ジンクリッチペイント、そして塗装以外の防食、防錆工法の代表として熔融亜鉛メッキ、溶射との防錆性能の比較評価試験を複合サイクル試験により行った。試験は、JIS K 5600-7-9 サイクル A に準拠し、試験装置内に静置した試験片（ISO-Sa2.5, t3×70×150）に対して塩化ナトリウム 5% 水溶液を 35℃ で 2 時間噴霧し（塩水噴霧）、これを 60℃、25±5%RH で 4 時間乾燥させ（乾燥）、さらに 50℃、95%RH で 2 時間湿潤させる（湿潤）ことにより行い、塩水噴霧→乾燥

	本シリコン樹脂防錆塗料	無機ジンクリッチペイント	有機ジンクリッチペイント
試験前			
試験後			

図 2 複合サイクル試験結果

→湿潤を 1 サイクル（8 時間）として所定時間実施した。

## 2.1 無機，有機ジンクリッチペイントとの防錆性能の比較

本シリコーン樹脂防錆塗料と無機，有機ジンクリッチペイントとの防錆性能の比較のため複合サイクル試験を 315 サイクル（2,520 時間）行った。結果を図 2 に示す。試験仕様は，本シリコーン樹脂防錆塗料は厚み 100 $\mu$ m，無機ジンクリッチペイントと有機ジンクリッチペイントは各々，C-5，Rc-I で規定されている塗布量 600g/m<sup>2</sup>とした。

一般部では，本シリコーン樹脂防錆塗料，無機ジンクリッチペイント，有機ジンクリッチペイントのいずれにおいても白化が認められたものの，赤さびの発生は認められなかった。

クロスカット部では，無機ジンクリッチペイントは，赤さびの発生及びクロスカットの影響によると考えられるクロスカット部周辺からの発錆が認められた。有機ジンクリッチペイントは，顕著な赤さびや膨れの発生が認められた。

一方，本シリコーン樹脂防錆塗料は，赤さびが認められたのみで，塗膜の膨れや剥がれは全く認められなかった。

## 2.2 溶融亜鉛メッキとの防錆性能の比較

本シリコーン樹脂防錆塗料と溶融亜鉛メッキとの防錆性能の比較のため複合サイクル試験を 315 サイクル（2,520 時間）行った。結果を図 3 に示す。試験仕様は，本シリコーン樹脂防錆塗料は厚み 100 $\mu$ m，溶融亜鉛メッキは溶融亜鉛メッキが 550g/m<sup>2</sup>以上施された鋼板 HDZ-55 を用いた。

本シリコーン樹脂防錆塗料は，一般部では白化が認められたものの，赤さびの発生は認められず，クロスカット部では，赤さびが認められたのみで，塗膜の膨れや剥がれは全く

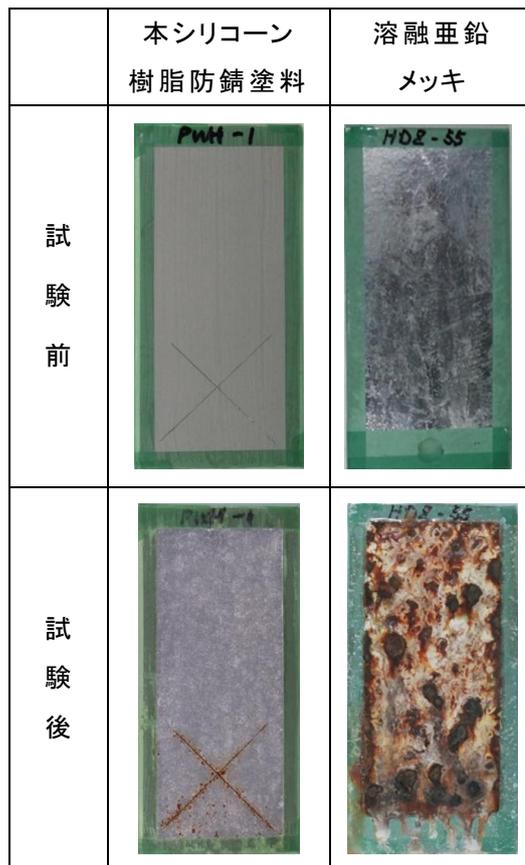


図 3 複合サイクル試験結果

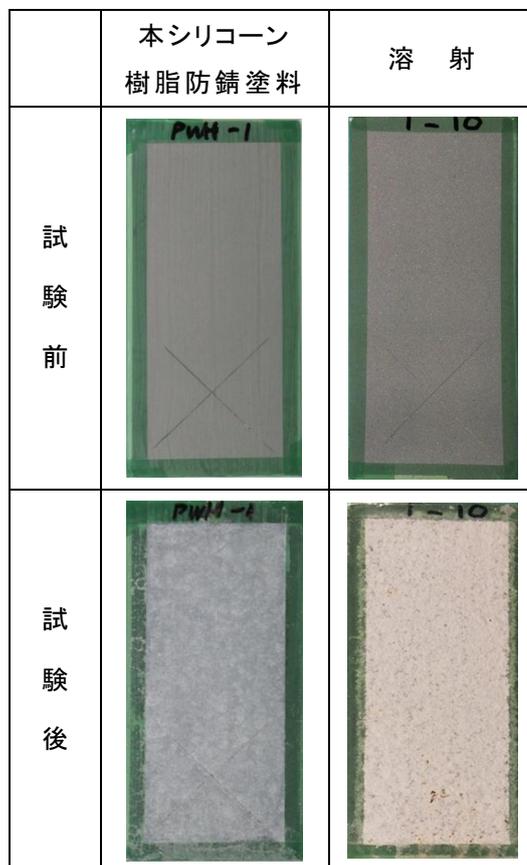


図 4 複合サイクル試験結果

認められなかった。一方、比較対象の溶融亜鉛メッキは、一般部、クロスカット部共に顕著な白さびや赤さび、膨れを生じた。

### 2.3 溶射との防錆性能の比較

本シリコーン樹脂防錆塗料と溶射との防錆性能の比較のため複合サイクル試験を180サイクル（1,440時間）行った。結果を図4に示す。試験仕様は、本シリコーン樹脂防錆塗料が厚み100 $\mu$ m、溶射はJIS H 8300に準拠したガスフレーム式で施工した厚み100 $\mu$ mの亜鉛アルミニウム合金溶射にエポキシ樹脂系封孔材を40g/m<sup>2</sup>で施工したものをを用いた。

本シリコーン樹脂防錆塗料では、一般部で白化が認められたものの、赤さびの発生は認められず、クロスカット部では、赤さびが認められたのみで、塗膜の膨れや剥がれは全く認められなかった。

一方、比較対象の亜鉛アルミニウム合金溶射では、一般部、クロスカット部共に顕著な白さびを生じた。

## 3. 従来の重防食塗装の耐久性向上のための防食下地の検討

### 3.1 本シリコーン樹脂防錆塗料の防食下地への適用

従来の重防食塗装を更に高耐久化させるためには、第1層の防食下地の防錆性能を向上させることが重要であると考えられる。これは、従来の重防食塗装が発錆や紫外線等による劣化を起こした場合、例えばC-5で第3層から第5層より成る防食層が失われた場合には、最終的に第1層無機ジンクリッチペイントと第2層ミストコートから成る防食下地が鉄基材を守る最後の砦となるためであり、このため、防食下地の防錆性能の向上が塗装自体の耐久性の向上において最も重要となると考えるからである。

表1に示した具体的な塗装仕様は、本シリコーン樹脂防錆塗料を第1層に適用し、C-5の第3層～第5層を第2層～第4層として適用する仕様（以下、本塗装仕様と略記）である。なお、C-5では、無機ジンクリッチペイントに生じる空隙を封孔するためのミストコート処理は必須であるが、本塗装仕様では、本シリコーン樹脂防錆塗料が封孔処理（ミストコート）の不要な連続塗膜を形成するためミストコートは不要となり、本塗装仕様の層数は合計4層塗りとなる。C-5と比較

表1 塗装仕様

[ ]内は使用量、( )内は目標膜厚

	本塗装仕様	C-5
第1層	本シリコーン樹脂防錆塗料 [450g/m <sup>2</sup> ] (100 $\mu$ m)	無機ジンクリッチペイント [600g/m <sup>2</sup> ] (75 $\mu$ m)
第2層	エポキシ樹脂塗料下塗 [540g/m <sup>2</sup> ] (120 $\mu$ m)	エポキシ樹脂塗料下塗 ミストコート [160g/m <sup>2</sup> ] (-)
第3層	ふっ素樹脂塗料中塗 [170g/m <sup>2</sup> ] (30 $\mu$ m)	エポキシ樹脂塗料下塗 [540g/m <sup>2</sup> ] (120 $\mu$ m)
第4層	ふっ素樹脂塗料上塗 [140g/m <sup>2</sup> ] (25 $\mu$ m)	ふっ素樹脂塗料中塗 [170g/m <sup>2</sup> ] (30 $\mu$ m)
第5層	-	ふっ素樹脂塗料上塗 [140g/m <sup>2</sup> ] (25 $\mu$ m)

表 2 各種シリコーン樹脂系塗料の比較

シリコーン樹脂系塗料の種類	上塗エポキシ樹脂塗料との付着力 (N/mm <sup>2</sup> )	シリコーン樹脂系塗料塗膜表面の Ra	凹凸の大きさ (μm)	
			直径	深さ
本シリコーン樹脂防錆塗料	1.1	6.121	1~27	4.2~12.6
一般的なシリコーン樹脂系塗料	0.4	0.648	1~9	0.8~2.6
一般的なシリコーンエラストマー塗料	付着せず測定不能	0.776	2~20	2.4~8.2

すると1層の減少になるが、C-5の場合、無機ジンクリッチペイントはミストコートにより封孔されて初めて1つの機能を持つため両者は機能的に一体と考えることが出来、本塗装仕様はC-5と比較して仕様変更はないとみなすことが出来ると考える。

なお従来、シリコーン樹脂系塗料には、重防食塗装の様な有機系塗料は付着し難いため、上記の様なシリコーン樹脂系塗料+重防食塗装という防錆塗装システムの確立は困難であると考えられているが、本塗装工法において防食下地として適用を考えた本シリコーン樹脂防錆塗料は、防錆性能に優れるだけでなく、こうした工法を可能とすることが分かった。以下にその理由について検証し、考察を加える。

### 3.2 本シリコーン樹脂防錆塗料とエポキシ樹脂塗料との付着性

本シリコーン樹脂防錆塗料、一般的なシリコーン樹脂系塗料、シリコーンエラストマー塗料とエポキシ樹脂塗料との付着力を測定するため、本シリコーン樹脂防錆塗料、一般的なシリコーン樹脂系塗料、シリコーンエラストマー塗料にエポキシ樹脂塗料を塗布した仕様につき、JIS K 5600-5-7 付着性（プルオフ法）に準拠して付着力の測定を行った。結果を表 2 に示す。その結果、本シリコーン樹脂防錆塗料は、他の2種類のシリコーン樹脂系塗料に比較してエポキシ樹脂塗料との付着力が大きいことが分かった。

### 3.3 付着性に関する考察

各種シリコーン樹脂系塗料とエポキシ樹脂塗料との付着性と付着面の粗さとの関係について考察するため、共焦点顕微鏡を用いて各種シリコーン樹脂系塗料の塗膜表面の中心線表面粗さ（以下、Ra と略記）の測定（JIS B 0601 準拠）を行った。各計測値の平均値を表 2 に示す。同表より、Ra が大きいほど表面が粗く、小さいほど表面が平滑であることを表している。同じシリコーン樹脂系塗料にも関わらず、本シリコーン樹脂防錆塗料の Ra は、他のそれと比べて約 7.9~9.4 倍大きいことが分かった。このような凹凸のある下地が良好な付着性を有する理由としては、アンカー効果が挙げられる。

塗膜のアンカー効果による付着性についてさらに考察を深めるには、塗膜の凹凸の具合を具体的に知る必要があるため、Ra データから各種シリコーン樹脂系塗料の塗膜表面の凹凸の直径と深さを測定し、表 2 に加えて示した。付着力と凹凸の直径につい

ては相関が低いと考えられるが、付着力と凹凸の深さについては一定の相関があると考えられる。具体的には付着力が  $0.4\text{N}/\text{mm}^2$  以下の場合、つまり付着性が不良と判断される場合の凹凸の深さは  $8.2\mu\text{m}$  以下であるという関係である。換言すれば、凹凸が深いほど塗膜の深部まで塗料が浸透し、アンカー効果が効果的に働き付着性が向上するものと考察される。この点、本シリコーン樹脂防錆塗料の凹凸の深さは、他のシリコーン樹脂系塗料に比べて深く、最大で  $12.6\mu\text{m}$  である。このことから、本シリコーン樹脂防錆塗料に対する付着性の良さが凹凸の深さでも裏付けられたこととなる。

### 3.4 防錆性能の評価

本塗装仕様と C-5 の防錆性能に付き比較評価するため、表 1 に示した塗装仕様につき、複合サイクル試験を 315 サイクル（2, 520 時間）行った。試験結果を図 5 に示す。試験条件は 2. 項と同様とした。

本塗装仕様と C-5 とでは、一般部では差が認められなかったものの、クロスカット部では本塗装仕様で赤さび、白さび、膨れの発生が殆ど無かったのに対して、C-5 は赤さびと赤さびがクロスカット部の塗膜と鉄基材との界面を塗膜方向に成長し、塗膜を持ち上げることにより発生すると考えられる膨れや剥がれが発生した。

## 4. 結論

C-5 の第 1 層防食下地を無機ジンクリッチペイントから本シリコーン樹脂防錆塗料に置き換えることから成る防錆塗装工法は、優れた防錆性能を持つことが分かった。

この工法を活用することで従来の重防食塗装 C-5 の仕様を変更することなく、C-5 の防錆性能の長寿命化を図ることが期待され、ひいては鋼構造物の高耐久化や長寿命化、LCC 削減に対して役割を担うことが期待される。

## 5. 引用文献

- 1) 砂田正明, 小林和夫, 鈴木俊光: 金属粉を含有するシリコーン樹脂防錆塗料を下塗層に適用した重防食塗装の性能評価, 土木学会年次学術講演会, Vol.68, No.1, p. 587-588 (2013)
- 2) 砂田正明, 小林和夫, 鈴木俊光: 金属粉を含有するシリコーン樹脂塗料を用いた重防食塗装システムの性能評価, 土木学会西部支部平成 25 年度技術発表会論文集, p. 37-42 (2013)
- 3) 重防食塗装 防食原理から設計・施工・維持管理まで, 社団法人日本鋼構造協会, 技報堂出版株式会社, p. 33 (2012)
- 4) 鋼橋の Q&A ライフサイクルコスト編, 社団法人日本橋梁建設協会, p. 9 (2006)
- 5) 鋼道路橋塗装・防食便覧, 社団法人日本道路協会, 丸善株式会社出版事業部, p. II-95 (2005)

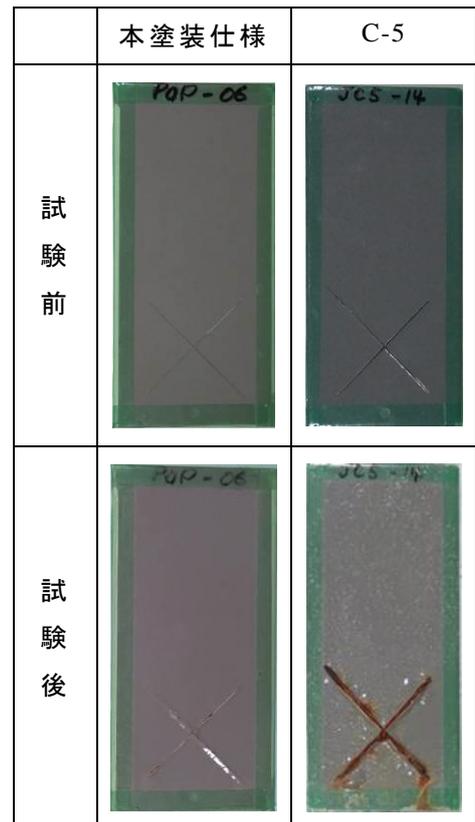


図 5 複合サイクル試験結果

\* : 試験後の試験片表面に見られる白色物は塩水噴霧時の塩の残分である。