

RUST
PREVENTION
& CONTROL
JAPAN

ISSN 0520-6340 Bōsei kanri

防錆管理

Vol.58, No.11, 2014

BOKAAP 58 (11) 403~440 (2014)

<http://www1.sphere.ne.jp/jacc>

- ・ 土中に35年間埋設された各種塗覆装鋼管の評価結果
- ・ 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
- ・ 塗装亜鉛系めっき鋼板マーケットと技術トレンド
- ・ 塗料解説講座 (1)
塗料 (総説)
- ・ 鋼道路橋の腐食損傷の現状と課題
- ・ 第55回防錆技術学校募集案内

第55回防錆技術学校募集中!!



一般社団法人日本防錆技術協会
JAPAN ASSOCIATION OF CORROSION CONTROL

■<テクニカルレポート>

土中に 35 年間埋設された各種塗覆装鋼管の評価結果

..... 新日鉄住金エンジニアリング(株)／鈴木 恵太
／佐々木信博... (403)

■<テクニカルレポート>

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 (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... (409)

■<解説>

塗装亜鉛系めっき鋼板マーケットと技術トレンド

BASF ジャパン(株)／大澤 勝彦
／辻田 隆広... (415)

■<塗料解説講座 (1)>

塗料 (総説)

職業能力開発総合大学校／坪田 実... (423)

■<解説>

鋼道路橋の腐食損傷の現状と課題

九州大学大学院／貝沼 重信... (432)

■協会ニュース

事務局... (440)

■第 55 回防錆技術学校案内

(441)

■会 告

事務局... (a-1)

「防錆管理」編集委員名簿 (*印委員長、**副委員長)

*岡 襄二	井上 学 (ディップソール(株))	岩瀬 嘉之 (大日本塗料(株))
**江成 孝文 (建設塗装工業(株))	大澤 隆英 (日本ペイント(株))	**加藤 敬 (綜研テクニクス(株))
酒井 哲也 (日本大学)	澤田 孝 (日本電信電話(株))	清水 良直 (アドコート(株))
田代 賢吉 (日本防蝕工業(株))	階上 宏則 (千代田化工建設(株))	星野 雅彦 ((株)ナカポーテック)
松本 雅充 (新日鉄住金(株))	水野 賢輔 (日本パーカラライジング(株))	宮城 肇 ((株)エムテック)
**村瀬 正次 (JFEスチール(株))		

印 刷 (有)田 中 昌 美 堂 東京都中野区弥生町3-16-4 電話03(5308)3855(代)

本紙広告一手取扱 日本工業出版(株)広告部 東京都文京区本駒込6-3-26 電話03(3944)1181(代)
大阪市中央区平野町1-6-8-705 電話06(6202)8218(代)

テクニカルレポート

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

砂田 正明*

Masaaki SUNADA

小林 和夫**

Kazuo KOBAYASHI

鈴木 俊光***

Toshimitsu SUZUKI

金属粉を含有するシリコーン樹脂防錆塗料は、犠牲陽極作用を発現する金属粉と代表的な無機系樹脂であるシリコーン樹脂で構成される。本報告では、既存の重防食塗装の耐久性向上を目的として、防食下地を無機ジクリッチペイントから金属粉を含有するシリコーン樹脂防錆塗料へ置換した工法の性能評価につき報告する。

キーワード：塗料，無溶剤型塗料，犠牲陽極，乾湿繰返し試験（サイクル腐食試験）

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、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、溶融亜鉛めっき、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³⁾、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⁴⁾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、酸素、塩分等の腐食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、溶融亜鉛めっきと金属溶射があるが、溶融亜鉛めっきは、溶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

* 株式会社シールドテクス（〒577-0016 大阪府東大阪市長田西5丁目5番21号）修士（工学）
ShieldTechs, Inc. (5-5-21 Nagatanishi, Higashiosaka, Osaka, 577-0016, Japan) Master of Engineering

** 株式会社シールドテクス（〒577-0016 大阪府東大阪市長田西5丁目5番21号）
ShieldTechs, Inc. (5-5-21 Nagatanishi, Higashiosaka, Osaka, 577-0016, Japan)

*** 三菱重工鉄構エンジニアリング株式会社（〒730-8642 広島市中区江波沖町5番1号）博士（工学）、技術士（建設部門、総合技術監理部門）
Mitsubishi Heavy Industries Bridge & Steel Structures Engineering Co., Ltd. (5-1, Eba-oki-machi, Naka-ku, Hiroshima, 730-8642, Japan)
Dr. Eng., P. E. Jp

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、溶融亜鉛めっきと異なり、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、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亜鉛、アルミニウム粉からな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）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。

本シリコン樹脂防錆塗料は、バインダーとして耐紫外線性能に優れ、鉄との付着性に優れるシリコン樹脂を用い、これに犠牲陽極作用を示すことが知られている亜鉛粉を配合し、加えてアルミニウム粉を併用することで塗膜表面からの水分、酸素、塩分等の腐食要因の塗膜や基材への侵入を防ぐ遮蔽効果を期待したものであり、優れた防錆性能を示すことが分かった。

本シリコン樹脂防錆塗料の概要を図1に記した。亜鉛、アルミニウム粉については、亜鉛粉が85～99質量%、アルミニウム粉が1～15質量%の割合からなっており、亜鉛粉の形状と配合比率については、鱗片状が5～50質量%、粒状が50～95質量%である。

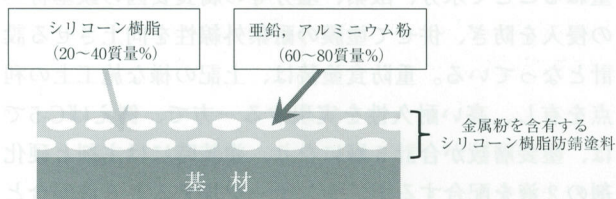


図1 金属粉を含有するシリコン樹脂防錆塗料の模式図

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⁵⁾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溶融亜鉛めっき、金属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。複合サイクル試験は、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（基材：ISO-Sa2.5プラスト処理済み、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→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。試験仕様としては、ISO-Sa2.5のプラスト処理を施した基材に対して、本シリコン樹脂防錆塗料：使用量450g/m²（目標膜厚100μm）、無機ジンクリッチペイント、有機ジンクリッチペイント：使用量600g/m²（目標膜厚75μm）とした。

一般部では、無機ジンクリッチペイント、有機ジンクリッチペイント、本シリコン樹脂防錆塗料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。この考察については2.2節で述べる。

	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（2,520時間）

2.2 溶融亜鉛めっき、金属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融亜鉛めっき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。試験仕様としては、ISO-Sa2.5のブラスト処理を施した基材に対して、本シリコーン樹脂防錆塗料：使用量 $450\text{g}/\text{m}^2$ (目標膜厚 $100\mu\text{m}$)、溶融亜鉛めっきはHDZ-55(JIS H 8641)を用いた。溶融亜鉛めっきは、一般部、クロスカット部共に顕著な白さびや赤さび、膨れが認められ、激しい腐食が生じた。

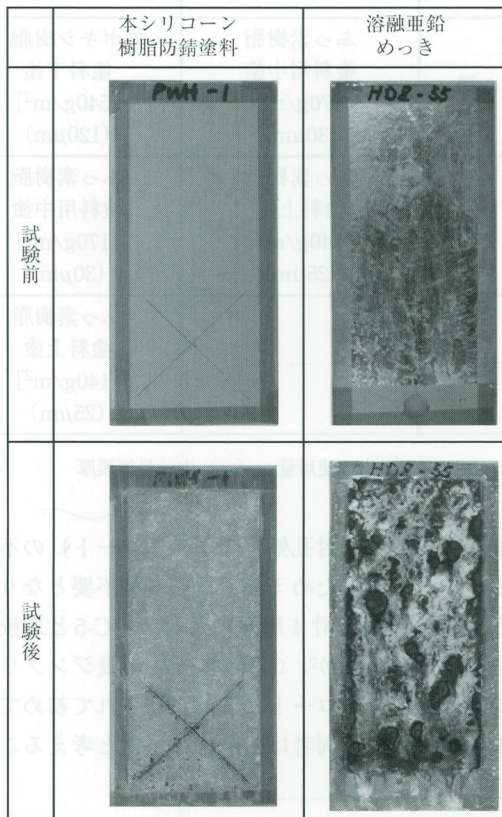


図3 複合サイクル試験結果(2,520時間)

次に、本シリコーン樹脂防錆塗料と金属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。試験仕様としては、ISO-Sa2.5のブラスト処理を施した基材に対して、本シリコーン樹脂防錆塗料：使用量 $450\text{g}/\text{m}^2$ (目標膜厚 $100\mu\text{m}$)、溶射はISO-Sa2.5のブラスト処理を施した基材にガスフレーム式で施工した亜鉛アルミニウム合金溶射(JIS H 8300)：目標膜厚 $100\mu\text{m}$ とし、これにエポキシ樹脂系封孔剤：シンナー=50：50(容量比)で希釈した封孔剤を施した(使用量 $40\text{g}/\text{m}^2$)。

本シリコーン樹脂防錆塗料は、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、発錆や塗膜の膨れ、剥がれは全く認められなかった。一方、亜鉛アルミニウム合金溶射は、一般部、ク

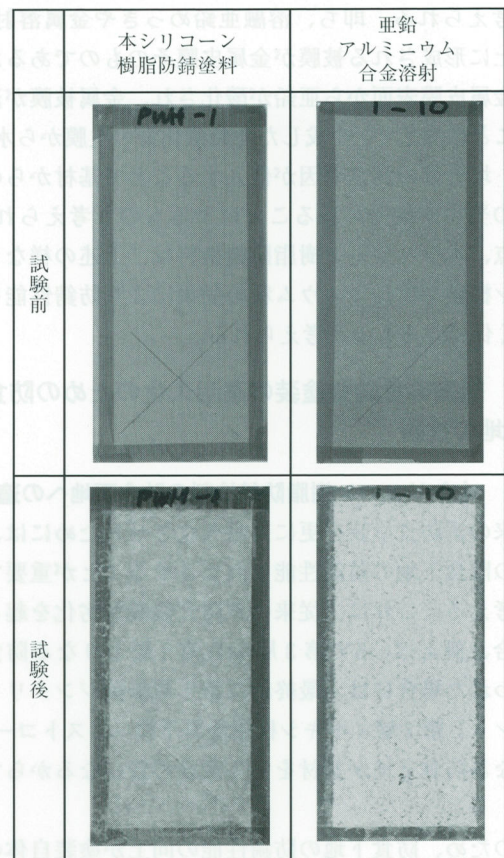


図4 複合サイクル試験結果(1,440時間)

ロスカット部共に顕著な白さびを生じた。

上記のような防錆性能の差は、塗料の組成や腐食形態の違いに起因するものと考えられる。2.1節の無機、有機ジンクリッチペイントと本シリコーン樹脂防錆塗料との防錆性能の差は、組成、つまり含まれる亜鉛粉の含有量とバインダーの種類、アルミニウム粉含有の有無によると考えられる。亜鉛含有量については、無機、有機ジンクリッチペイントで75、70質量%以上、本シリコーン樹脂防錆塗料で60～80質量%であり、この関係だけでは上記の防錆性能の差につき言及することはできないと考える。バインダーについては、無機、有機ジンクリッチペイントのシリケートやエポキシ樹脂、本シリコーン樹脂防錆塗料のシリコーン樹脂には何れも単独、かつ直接的に防錆性能を向上させる要因を推定するのは難しいと考える。アルミニウム粉含有の有無については、本シリコーン樹脂防錆塗料では、塗膜表面の亜鉛がシリコーン樹脂やアルミニウム粉により腐食要因から遮蔽されることで亜鉛の過度な酸化を抑え、亜鉛酸化物皮膜の生成を遅らせるため、塗膜厚の減少や塗膜や基材への腐食要因の侵入の抑制となり、防錆性能をより長く保持することに寄与しているものと考えられる。

一方、本シリコーン樹脂防錆塗料と溶融亜鉛めっきや金属溶射との防錆性能の差は、腐食形態の違いにあるも

のと考えられる。即ち、溶融亜鉛めっきや金属溶射は、基材上に形成される被膜が金属皮膜そのものであるために、金属皮膜表面から亜鉛が酸化され、金属被膜が薄くなることに加えて、生成した亜鉛酸化物の皮膜から水分、酸素、塩分等の腐食要因が侵入することで基材からの赤さびの発生が活発になることによるものと考えられる。この点、本シリコーン樹脂防錆塗料は、上述の様なシリコーン樹脂やアルミニウム粉の効果により防錆性能をより長く保持するものと考えられる。

3. 従来の重防食塗装の高耐久化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層よりな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層エポキシ樹脂塗料下塗（ミストコート）からなる防食下地が基材を守る最後の砦になるからである。

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と図5に示した具体的な塗装仕様は、C-5と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

表1 塗装仕様

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

[]内は使用量、()内は目標膜厚

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

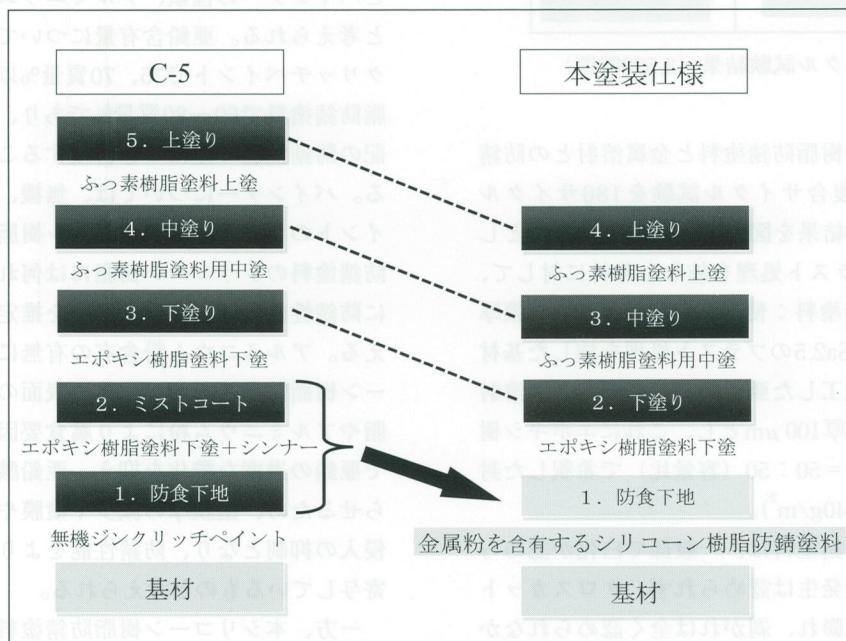


図5 本塗装仕様とC-5との比較模式図

出来、本塗装仕様はC-5と比較して仕様変更はないものとみなすことが出来ると考える。

なお従来、シリコン樹脂系塗料には、重防食塗装に用いられる塗料の様な有機系塗料は付着し難いために、上記の様なシリコン樹脂系塗料+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

本シリコン樹脂防錆塗料、一般的なシリコン樹脂系塗料、シリコンエラストマー塗料（以下、各種シリコン樹脂系塗料と略記）とエポキシ樹脂塗料との付着力を測定するため、各種シリコン樹脂系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。また、本シリコン樹脂防錆塗料とエポキシ樹脂塗料との付着力に対する金属粉の効果を確認するため、本シリコン樹脂防錆塗料から金属粉を抜いたものについても同様の測定を行い、結果を表2に示した。

その結果、本シリコン樹脂防錆塗料は、一般的なシリコン樹脂系塗料、一般的なシリコンエラストマー塗料と比較してエポキシ樹脂塗料との付着力が1.1MPaと大きいことが分かり、垂直引張力による付着性の評価（日本鋼構造協会（JSS）「鋼構造物塗膜調査マニュアル IV 03-2006」の評価点（RN）1の「 $1.0 \leq X < 2.0$ （単位：MPa）」を満足できたものの、本シリコン樹脂防錆塗料から金属粉を抜いたものは、付着力が0.9MPaで評価点（RN）2の「 $0 < X < 1.0$ 」となり、評価点（RN）1の「 $1.0 \leq X < 2.0$ 」を満足できないことが分かった。

金属粉の付着性に及ぼす効果について考えると、本シ

リコン樹脂防錆塗料の付着力が本シリコン樹脂防錆塗料から金属粉を抜いたもののそれより大きいことから、金属粉の含有が付着力の向上に寄与していることが示された。

3.3 付着性に関する考察

各種シリコ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、形状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）の測定を行った（JIS B 0601準拠）。なお、本シリコン樹脂防錆塗料から金属粉を抜いたものは、共焦点顕微鏡でのRaの測定が出来なかった。

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。本シリコン樹脂防錆塗料のRaは、ISO-Sa2.5のプラスト処理済み鋼板のRaである5.287より大きいことが分かった。また、同じシリコン樹脂系塗料にも関わらず、本シリコン樹脂防錆塗料のRaは、他のそれと比べて約7.9～9.4倍大きく、Raの大きさの順に付着力が大きいことが分かった。Raと付着力に相関があるこれらの結果から、エポキシ樹脂塗料が本シリコン樹脂防錆塗料に対して付着する理由の1つとして、アンカー効果が挙げられる。

塗膜のアンカー効果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チャートから各種シリコン樹脂系塗料の塗膜表面の凹凸の径と高さを測定し、表2に加えて示した。具体的には、基材に塗布した本シリコン樹脂防錆塗料の塗膜表面に形成された凹凸について、凹凸の界面から凸部の頂点までの高さをh、隣り合う凸部同士の頂点間の距離である径をdとした（図6参照）。

測定結果からは、付着力とdについては相関が低いと考えられるが、付着力とhについては一定の相関がある

表2 各種シリコン樹脂系塗料の比較

シリコン樹脂系塗料の種類	上塗エポキシ樹脂塗料との付着力 (MPa)					シリコン樹脂系塗料塗膜表面のRa	凹凸の大きさ (μm)	
	測定値 (n=4)				平均値		径 d	高さ h
本シリコン樹脂防錆塗料	1.2	1.3	1.2	0.8	1.1	6.121	1～27	4.2～12.6
一般的なシリコン樹脂系塗料	N/A	N/A	0.3	0.5	0.4	0.648	1～9	0.8～2.6
一般的なシリコンエラストマー塗料	N/A	N/A	—	—	N/A	0.776	2～20	2.4～8.2
本シリコン樹脂防錆塗料から金属粉を抜いたもの	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	N/A	N/A	N/A

N/A：測定不能

と考えられる。具体的には、付着力が0.4MPa以下の場合、 h が $8.2\mu\text{m}$ 以下であるという関係である。換言すれば、 h が大きいほど本シリコン樹脂防錆塗料の上に塗装した塗料が塗膜の深部まで浸透し、アンカー効果が良好に働き、付着性が向上するものと考えられる。この点、本シリコン樹脂防錆塗料の h は、他のシリコン樹脂系塗料に比べて大きく、最大で $12.6\mu\text{m}$ である。このことから、本シリコン樹脂防錆塗料に対するエポキシ樹脂系塗料の付着力の大きさが R_a や塗膜表面における凹凸の高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の防錆性能につき比較評価するため、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7に示す。試験条件は2.項と同様とした。試験仕様としては、ISO-Sa2.5のプラスト処理を施した基材に対して表1に示した塗装を施したものとした。

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、本塗装仕様は赤さび、白さび、膨れの発生が殆ど無かったのに対して、C-5は赤さびがクロスカット部の塗膜と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したと考えられる膨れや剥がれが認められた。

このことは、2.2節にて述べた様に本シリコン樹脂防錆塗料と無機ジンクリッチペイントとの防錆性能の差によるものと考えられる。

4. 結論

C-5の第1層の防食下地を無機ジンクリッチペイントから本シリコン樹脂防錆塗料に置き換えることからなる防錆塗装工法は、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、ライフサイクルコスト削減に対して役割を担うことが期待される。

参考文献

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）.

受理日：平成26年9月1日

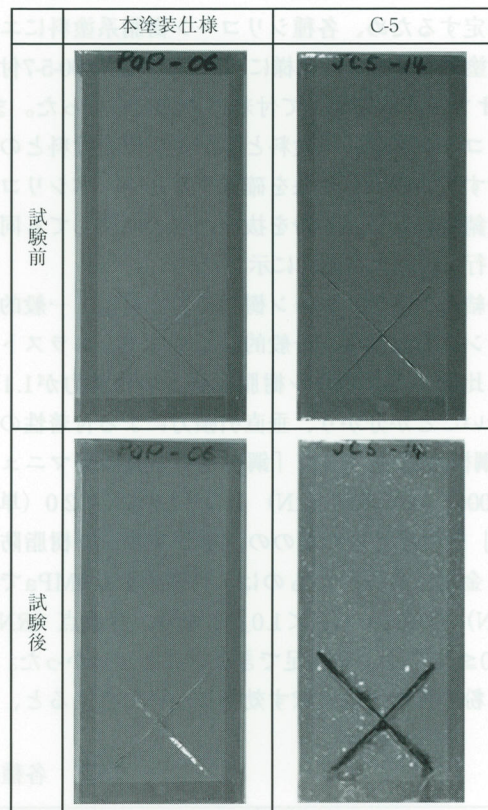


図7 複合サイクル試験結果（2,520時間）

*：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。

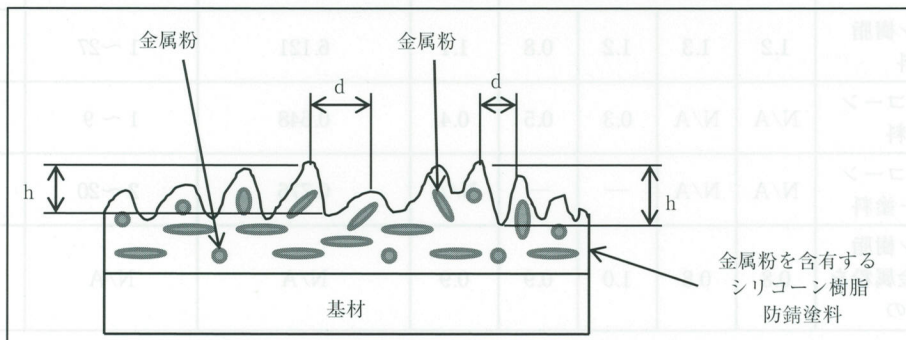


図6 塗膜表面の凹凸の径と高さの測定概略図