

# 人工ダイヤモンドを用いた高効率電動ケレン工具の開発と高耐久性有機ジンクリッチペイントの防食性評価

Development of the Efficient Electric Tool which Used the Artificial Diamond and Corrosion Behavior of High Durability Organic Zinc Rich Paint

技術開発部門 研究部  
Technical Development Division  
Research Development Department

技術開発部門 開発部  
Technical Development Division  
Technology Development Department



松本 剛司  
Tsuyoshi MATSUMOTO



里 隆幸  
Takayuki SATO



森田さやか  
Sayaka MORITA

## 要 旨

橋梁等の大型鋼構造物は維持管理の時代を迎え、補修に関する様々な手法が提案されている。近年、飛来塩分の多い海浜地域や塩化カルシウム等の凍結防止剤が散布される寒冷地域耐候性鋼で施工された橋梁において、本来特徴とする保護性を有するさびが形成されず、異常を示すさびが発生している事例が多く見いだされるようになってきている。そのような場合の補修方法として適用できる新規素地調整方法と、新規の有機ジンクリッチペイントを開発した。その報告ならびに、耐候性鋼に生じた異常さび部と新設部に開発工法を適用した場合の防食性について報告する。

## Abstract

Large-sized steel structures, such as a bridge, have entered the time of maintenance and management. Various proposals for maintenance method have been made. Weathering steel is sensitive to salt-laden air environments, such as in seashore area, and as spreaded calcium chloride for antifreezes. In such environments, it is possible that the protective patina may not stabilize but instead continue to corrode. Actually, a lot of such examples have been found.

This time, we developed a novel organic zinc rich paint and a novel surface preparation which could apply to the repair method mentioned above. It reports on the corrosion behavior when the development industrial method was applied to the weathering steel preparation of unusual rust generated and new weathering steel preparation.

## 1. はじめに

橋梁等の大型鋼構造物は維持管理の時代を迎え、補修に関する様々な提案がなされている。

耐候性鋼は無塗装で適用できる鋼材として注目を集め、LCC(ライフサイクルコスト)低減の観点から鋼橋への適用割合が増加しており、最近では20%程度にまで達している<sup>1)</sup>。耐候性鋼は、銅、ニッケル、クロムなどを添加した低合金鋼であり、機械的には普通鋼と同様な性質を持ちながら、大気環境下において環境遮断性を持つ緻密で保護性を有したさび層を表面に2~4年かけて形成する自己防食機能を発揮する鋼材である。周囲の景観との調和性を持たせる場合では、色彩が必要となり、新設時から耐候性鋼に塗装工法を適用した事例もある。耐候性鋼に塗装した場合、普通鋼と比較して塗膜下腐食の進行が遅くなり、結果的に塗膜の耐久性が長期間維持されLCC低減のメリットがあるという報告もある<sup>2)3)</sup>。

JIS-SMAで規定されている耐候性鋼(0.4Cu-0.6Cr添加系)は、飛来塩分の多い[0.05mdd(mg/dm<sup>2</sup>/day)]以上[海浜地域等に不適切な環境で用いられた場合や、漏水あるいは凍結防止剤の影響により、保護性を持つさび層が形成されず腐食が進行し、層状のさび層が形成されるという事例があり<sup>4)</sup>、鋼材の板厚減少が進行している部位については補修が必要である。補修方法として塗装による研究が様々な機関にて行われており<sup>5-7)</sup>、素地調整方法及び塗装方法による補修技術の確立が望まれている。著者らは、過去に耐候性鋼に生じた層状の固着さび発生部の効率的な素地調整方法の開発を行ってきた<sup>8-10)</sup>。

本報では、さび層が残存する補修部に適した新規素地調整方法と新規開発した有機ジंकリッチペイントの防食性、ならびに新設部に適用した場合の防食性について報告する。

## 2. 補修方法とその課題

耐候性鋼が海浜地域に適用された場合や、漏水あるいは凍結防止剤の影響により、保護性を持つさび層が形成されず腐食が進行した部位には補修を行う必要がある。写真1に凍結防止剤の影響により層状の固着さびが発生した例を示した。

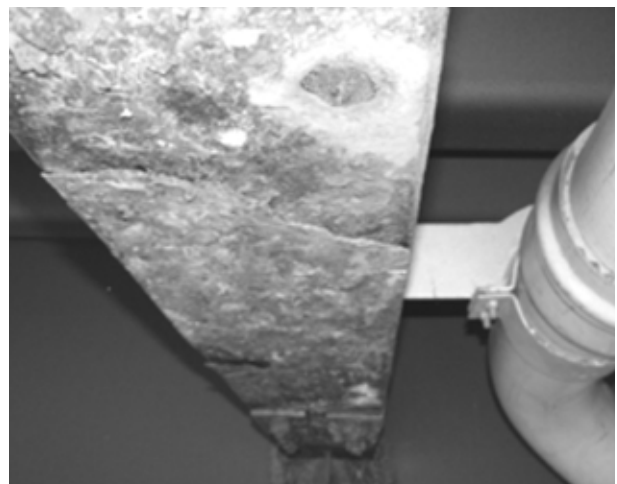


写真1 凍結防止剤の影響により生じた層状固着さび

耐候性鋼を橋梁に展開する最新の利用方法が記述された『鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>11)</sup>』や『現代の橋梁工学<sup>12)</sup>』には、このような層状の固着さびが発生した耐候性鋼部材の補修塗装は、軽度の素地調整では補修塗装を実施してもさび層に残る過度の塩分を除去できていないため素地調整の効果がなく、プラスト工法によって素地調整を十分に行わないと補修後の塗膜耐久性に問題が生じるとされている。しかし、補修にプラスト工法を適用する場合、粉塵や騒音等の環境への影響や設備コストの問題が指摘されている。また、層状の固着さびの除去工程は一般に、ハンマーケレン 電動工具ケレン プラストといった3段階の工程を必要とし、労力および作業コスト面での改善すべき課題が残っている。

### 3. 動力工具による効率的な固着さび除去方法の考案

JIS-SMA耐候性鋼材に5wt% NaCl水溶液を週1回の頻度で半年間散布し、層状の固着さびを有するさび鋼板を作製した。このさび鋼板に対して、ディスクグラインダー、ディスクサンダー、カップワイヤーブラシ、多針タガネ、ジェットチゼル等の従来からある各種動力工具を用い素地調整を実施したが、層状の固着さびを除去することはきわめて困難であり労力を要するものであった。

この層状の固着さびは非常に硬いため、除去する動力工具にはモース硬度10である工業用ダイヤモンドを応用したステンレス製電動式素地調整工具を開発した<sup>8-10)</sup>。開発工具および開発工具による層状の固着さびの除去試験結果を写真2に示した。開発工具を用いて前述のさび鋼板の素地調整を実施した結果、層状の固着さびを容易に除去できた。また、作業効率について実験を行った結果、耐候性鋼の層状固着さび面1m<sup>2</sup>を70%のさびを除去するのに要した時間は30分であった。従来のペーパーグラインダーの場合、1時間以上を要したことから、開発工具は従来工具に比較して2倍以上の作業効率と考える。



写真2 開発工具と層状の固着さびの除去試験結果

図1に開発工具を用いた素地調整面の水準を定義した。金属素地が97%以上露出している水準をStD-3、70%以上の露出水準をStD-2、70%未満の水準をStD-1とした。ダイヤモンドはほとんどの無機物質を容易に研削できる反面、金属鉄とは結合反応を生じて、ダイヤモンド自体に熱疲労割れを発生しやすく、作業効率や工具寿

命を低下させるため、StD-3の水準まで素地調整を行うのは好ましくない。従って、作業効率や工具寿命を考慮すると、実際の補修に際してStD-2の水準まで素地調整を行うのが好ましいと判断し、次に述べる塗料の開発においては、素地調整の水準はStD-2を採用した。

<p><b>StD-3の定義</b></p> <p>素地露出面積率97%以上であり、孔食の特に深い部分がピット状に残る以外は、全面的に金属光沢面となっている。特徴的な工具によるスクラッチ痕が全面に見られる。</p>	
<p><b>StD-2の定義</b></p> <p>素地露出面積率70%以上。孔食の深い部分や強く固着したさびは残っている。それ以外の部分はスクラッチ痕を有する金属光沢面となっている。</p>	
<p><b>StD-1の定義</b></p> <p>素地露出面積率70%未満。密着力のないさび、塗料、油、土等の付着物はないが、孔食部と固着さびは残っている。</p>	

図1 開発工具を用いた素地調整面の水準



## 4. さびが残留した補修塗装面用塗料の開発

開発したダイヤモンド工具を用いて耐候性鋼上に発生した異常さびをStD-2(図1に示したケレングレード)水準まで素地調整を行った場合、基材表面には30%未満の固着さびが残っていることになる。この固着さび層には多量の塩分が残留しており、超高压水洗処理を実施しても塩分を完全には除去できない。実際に、約400mg/m<sup>2</sup>の塩分が残存している耐候性鋼異常さび発生鋼板を6MPaの超高压水洗処理を10秒間実施しても、残存塩分は約150mg/m<sup>2</sup>であった。なお、残存塩分量はサンコウ電子研究所製表面塩分計SNA-300X(電気電導率法)により測定した。

そこで、塩分が存在するさび層が残存する基材においても十分に防食機能を発揮する塗料の開発に着手した。開発する塗料の樹脂系の検討を行うにあたり、有機ジंकリッチペイントをベースとした塗料が高い耐食性を示したため、開発塗料は有機ジंकリッチペイントをベースとして検討を行った。耐候性鋼の補修塗装仕様として『鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>11)</sup>』では、有機ジंकリッチペイント(75μm)/変性エポキシ樹脂塗料下塗(60μm)/変性エポキシ樹脂塗料下塗(60μm)/ポリウレタン樹脂塗料用中塗(30μm)/ポリウレタン樹脂塗料上塗(25μm)を推奨しており、現行の補修塗装にもプライマーには有機ジंकリッチペイントが適用されている事例が多い。

有機ジंकリッチペイントをベースとして配合検討を行った結果、腐食性イオン固定化剤を配合することにより、塩分残存さび層が存在する基材においても十分に防食性を発揮することを確認した。腐食性イオン固定化剤はアニオン性インヒビターを保持しており、塩化物イオンや硫酸イオン等の腐食性イオンとイオン交換し、腐食性イオンを不溶性の塩として固定化する。また、同時にイオン交換時に放出されたアニオン性腐食抑制剤が鋼材を不動体化する機能を持っている<sup>13)</sup>。

本検討により、有機ジंकリッチペイントの持つさび面への密着性、犠牲防食作用に加えて、腐食性イオン固定化剤の持つ腐食性イオン無害化の機能を合わせ持つ塗料を開発した。

## 5. 実験概要

### 5.1 試験片の作製

#### 5.1.1 異常さび発生耐候性鋼板作製

JIS-SMA 耐候性鋼材(150×75×30tmm)を栃木県大田原市に暴露し、5wt% NaCl水溶液を週1回の頻度で半年間散布して作製した。

#### 5.1.2 塗装試験片作製

##### 1)新規補修工法を適用した試験片

作製した異常さび発生耐候性鋼板に超高压水洗による付着塩分除去を実施し乾燥させた後、開発工具を用いてStD-2水準まで素地調整を行った(付着塩分は100~150mg/m<sup>2</sup>)。その後、開発した有機ジंकリッチペイントを乾燥膜厚75μmとなるようにエアスプレー塗装し、23にて2週間乾燥させた後、下半分の部位にクロスカットを鋼材素地に達するように施した。

##### 2)比較試験片

作製した異常さび発生耐候性鋼板に超高压水洗による付着塩分除去を実施し乾燥させた後、開発したダイヤモンド工具を用いてStD-3水準まで素地調整を行い、発生さびをほぼ完全に除去した。その後、市販の有機ジंकリッチペイントを乾燥膜厚75μmとなるようにエアスプレー塗装し、23にて2週間乾燥させた後、下半分の部位にクロスカットを鋼材素地に達するように施した。

##### 3)新設部適用性評価試験片

平均表面粗さ30μmのアルミナブラスト処理したJIS-SM400相当の普通鋼を使用した。試験片は無機ジंकリッチペイント、有機ジंकリッチペイントおよび開発した有機ジंकリッチペイントを乾燥膜厚75μmとなるようにエアスプレー塗装し23にて2週間乾燥させた後、塩水噴霧試験用試験片には下半分の部位にクロスカットを鋼材素地に達するように施した。

### 5.2 評価

#### 5.2.1 開発補修工法適用性

作製した試験片を用い複合サイクル腐食試験(以下CCTと称す)によって670サイクル評価した。サイクル試

験の条件はJIS K 5600-7-9( 付属書1、サイクルD )によって規定されている塩水噴霧/30 :30分 湿潤 95%RH/30 :1時間30分 乾燥/50 :2時間 乾燥 /30 :2時間の1サイクル6時間である。

### 5.2.2 新設部適用性

#### 1) 塩水噴霧試験( 以下SSTと称す )

JIS K 5600-7-1に従い、670時間まで評価を継続した。

#### 2) 防食電位

作製した試験片にアクリルリングを設置し、Ag/AgCl電極を参照電極、3wt%NaCl水溶液を電解質として、経時的に防食電位を測定した。

## 6. 結果および考察

### 6.1 開発補修工法

CCT 670サイクル後の外観写真を図2に示した。塩分および、さびをほぼ完全に除去した素地調整グレード( StD-3 )に従来の有機シンクリッチペイントを塗装した比較試験片は、全面にさびが発生しており、塗膜割れの発生が著しい状態である。これに対して、水洗後に開発したダイヤモンド工具でStD-2水準までケレンし、開発した有機シンクリッチペイントを塗装した試験片( 開発補修工法 )は、一般部においてさび発生はほとんどなく良好

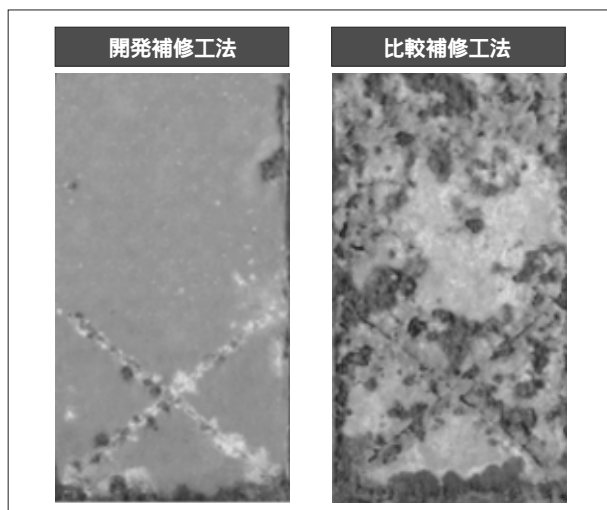


図2 開発下地補修工法試験片と比較試験片の CCT 670サイクル試験結果

な防食性を示している。また、クロスカット部において白さびが発生していることから、犠牲防食作用が継続的に機能していると考えられる高い耐久性を保持している結果を得た。

### 6.2 新設部適用性

SST 670時間後の外観写真を図5に示した。図3の評価結果より、全ての試験片で一般部は良好であるが、クロスカット部において各試験片に差が現れている。無機シンクリッチペイントはクロスカット部および一般部全体で白さびが発生しており、亜鉛の犠牲防食作用が有効に機能している。しかし、有機シンクリッチペイントはクロスカット部全体で赤さびが発生しているため、亜鉛の犠牲防食作用は低減していると考えられる。開発塗料はクロスカット部の一部で赤さびが発生しているため、無機シンクリッチペイントには及ばないが、有機シンクリッチペイントより良好な防食性を示していた。

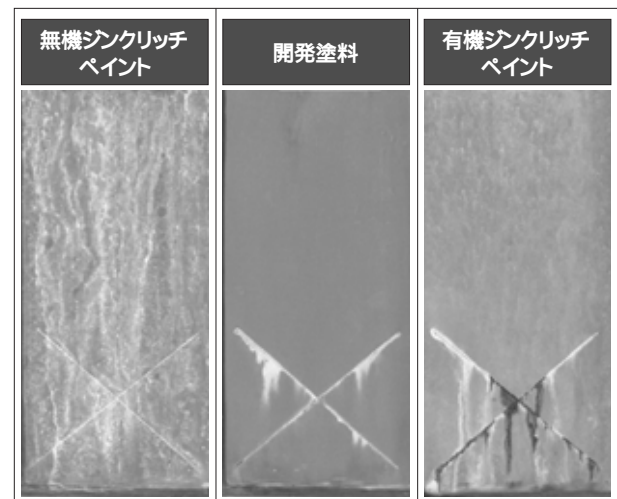


図3 SST 670時間試験結果

防食電位測定結果を図4に示した。図4の結果より、3wt% NaCl水溶液浸漬1500時間後も、全ての試験片で亜鉛の電位を示しており、犠牲防食作用が継続的に機能していることがわかる。無機シンクリッチペイントおよび有機シンクリッチペイントは初期から亜鉛の電位を示している。しかし、開発塗料は初期では亜鉛の電位よりも貴な電位を示した後、時間の経過と共に電位は卑な方向に推移し、500時間後あたりから亜鉛の電位を示し

ている。これは、開発塗料において亜鉛末の過大な溶出をコントロールしているためであると考えられる。

SSTおよび防食電位測定の評価結果から、開発塗料は初期では皮膜防食機能を示し、時間の経過と共に亜鉛の犠牲防食機能を示すと考えることができる。従って、通常の有機シンクリッチペイントより先長期にわたる防食性を有していると考えられる。

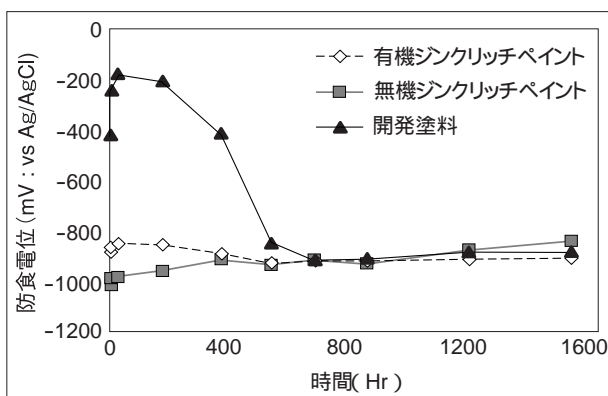


図4 防食電位測定結果

## 7. まとめ

耐候性鋼の層状固着さび発生部の効果的な補修工法および開発塗料の新設部適用性について検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 有機シンクリッチペイントに腐食性イオン固定化剤を配合した開発塗料は、100 ~ 150mg/m<sup>2</sup>の塩分残存さび層が存在する基材においても、十分に防食性を発揮する。
- 2) 開発工具によるStD-2水準の素地調整による付着塩分除去/開発塗料の補修塗装工法は、従来法と比較して、異常固着さびを効率的に除去でき、防食性についても数段優れる。この補修工法は層状の固着さびが発生した耐候性鋼部材の効率的かつ効果的な補修工法となる。
- 3) 開発塗料は新設部を想定したプラスト鋼板においても従来有機シンクリッチペイントより先長期に亘る防食性を発揮すると考えられる。

## 謝辞

本研究は新日本製鐵株式会社殿、新日鉄マテリアルズ株式会社殿、日鉄防食株式会社殿との4社共同研究成果である。実験に御協力頂いた関係者の方々に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 〔社〕日本橋梁建設協会：耐候性鋼橋梁実績資料集 (2009)
- 2) 渡辺常安、増田一広：防錆管理No.12 p386-393 (1989)
- 3) 松本剛司、永井昌憲：防錆管理No.9 p459-462 (2007)
- 4) 守屋進：Structure Painting, Vol.33, No3, p8 (2005)
- 5) 福島稔、伊藤貴広：第21回鉄構塗装技術討論会発表予稿集 p63-68 (1998)
- 6) 江成孝文、田中誠、町田洋人：第21回防錆防食技術発表大会予稿集 p119-122 (2001)
- 7) 後藤宏明、後藤正承、岩見勉、齋藤誠、藤城正樹、守屋進：防錆管理No.10 p504-512 (2007)
- 8) 平松幹次郎、三塚喜彦、今井篤美、相賀武英、松本剛司、永井昌憲、里隆幸、木下俊哉、紀平寛：第29回鉄構塗装技術討論会発表予稿集 p7-10 (2006)
- 9) 今井篤実：第160回腐食防食シンポジウム (2007)
- 10) 松本剛司、永井昌憲、里隆幸、平松幹次郎、三塚喜彦、今井篤美、相賀武英、木下俊哉、紀平寛：第30回鉄構塗装技術討論会発表予稿集 p67-70 (2007)
- 11) 〔社〕日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧 (2005)
- 12) 三木千壽、市川篤司：現代の橋梁工学、塗装しない鋼と橋の技術最前線 理工学社 (2004)
- 13) 里隆幸、野村僚一、山崎曜：第24回鉄構塗装技術討論会発表予稿集 p104 (2001)