

1. はじめに

1970 年代より数多く建設されてきた無塗装耐候性鋼橋において、さび層の保護性機構に関する多くの研究がなされてきた。しかし、いまだに飛来塩分量の多い沿岸部や、岐阜県を含む塩化物系凍結防止剤が使用される地域では、保護性の緻密なさび層が形成されず異常腐食が発生するといった問題が起きている。異常腐食が発生した場合には、素地調整および塩分の除去を行った上で補修部に塗装が行われるが、異常腐食部にもクロム (Cr) を含有した硬いさび層が存在しているために素地調整が普通鋼よりも困難である。このため、素地調整不足により再腐食を生じた事例も確認されている等、現在の補修方法には課題がある。

一方、冬季に凍結防止剤が散布される耐候性鋼橋での漏水により発生した異常腐食に対し、漏水の原因除去、荒いさびの電動工具による除去および表面清掃による補修が実施され、補修後にさびの生成が緩慢になった例が報告されている¹⁾。この事例のように、耐候性鋼のさび生成の特性を理解し、異常腐食の原因除去後に耐候性鋼材の特徴である緻密なさび層の自己再生を促す工法を開発できれば、困難な素地調整や塗装が不要となるより簡易で経済的な補修が実現できるのではないと考えられる。本研究では、DLC シートの環境遮断性を活用した緻密なさび層の自己再生を促す耐候性鋼橋梁の異常腐食部への新しい補修方法を提案し、提案手法の効果をさび層断面分析により検証した。

2. DLC シート貼付による異常腐食部補修方法

本補修方法の流れを図-1 に示す。図-1 のように、本補修方法は、異常腐食部表面の浮きさびをワイヤーブラシで簡易に除去した上で、DLC シートを貼りつけるのみであり、浮きさびを除去したさび層への酸素と水分の侵入を DLC シートにより遮断することで、耐候性鋼材の特徴である緻密なさび層の再生成を促す。このように、本工法はさび除去のための特殊な電動工具、ならびにさび除去後の塗装を必要としない、簡易な工法であるといえる。

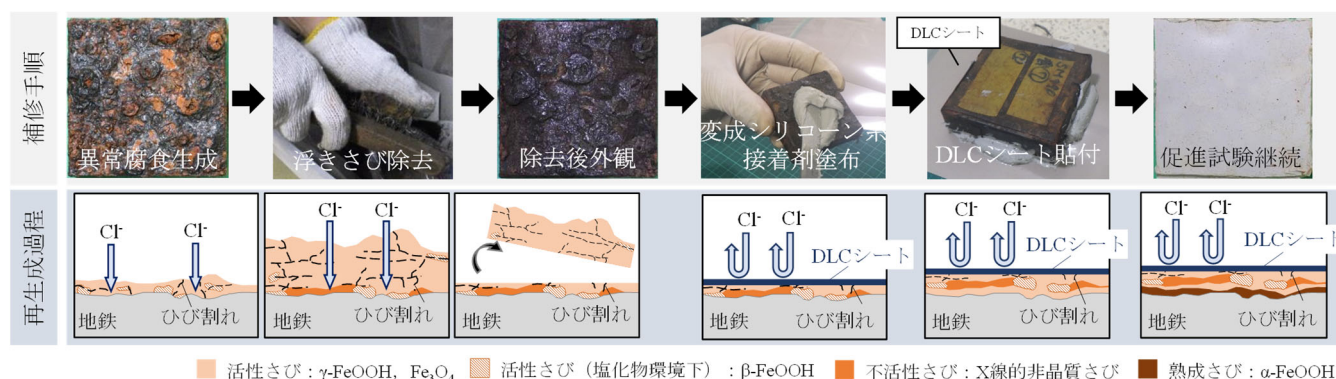


図-1 異常腐食部補修方法

3. 腐食促進試験方法と試験結果

腐食抑制効果の検討に際し、50×50×12 mm の試験片を用い腐食促進試験を実施した。鋼種は耐候性鋼材である JIS-SMA, 1%Ni 高耐候性鋼 (以降, 1%Ni), 3%Ni 高耐候性鋼 (以降, 3%Ni) の三種類と、比較検討用として普通鋼材である SM490A の計四種類を用いた。はじめに、塩化物環境下での異常腐食を発生させるた

キーワード 耐候性鋼材, 異常腐食, 補修工法, 緻密なさび再生成, 環境遮断

め、図-2 に示す乾湿繰り返し腐食促進試験²⁾を36 サイクル行った。その後、各鋼種の一試験片を裸仕様のままとし、残りの試験片に DLC シートを図-1 のように貼付した上で促進試験を継続した。図-3 に DLC シート貼付および裸仕様試験片のサイクル毎の質量増加量³⁾を示す。シート貼付直後の36 サイクルより、鋼種によらず裸仕様と比較し傾きが小さくなった。104～276 サイクル経過時に、1%Ni 試験片 1 体を除くすべての試験片にて、腐食の進行に伴うシート下の腐食生成物の膨れによりシートの追従性が限界に達し、シートが変成シリコン系接着剤から剥離した(図-4)。剥離、破損が確認された104 サイクル以降でわずかに傾きが増加したものの、急激な質量増加は確認されず、腐食進行が大きく抑制されていた。以上より、DLC シート下でもさびの生成が生じており、またその生成速度が遅い、すなわち緻密なさびが生成されていると推察される。

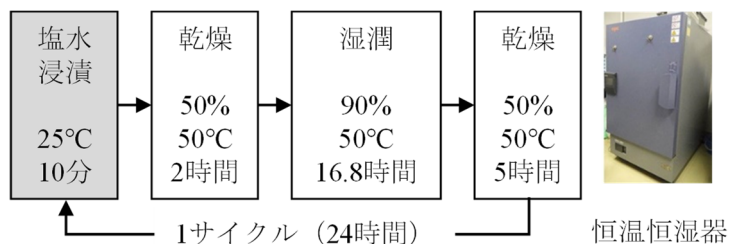


図-2 乾湿繰り返し腐食促進試験サイクル

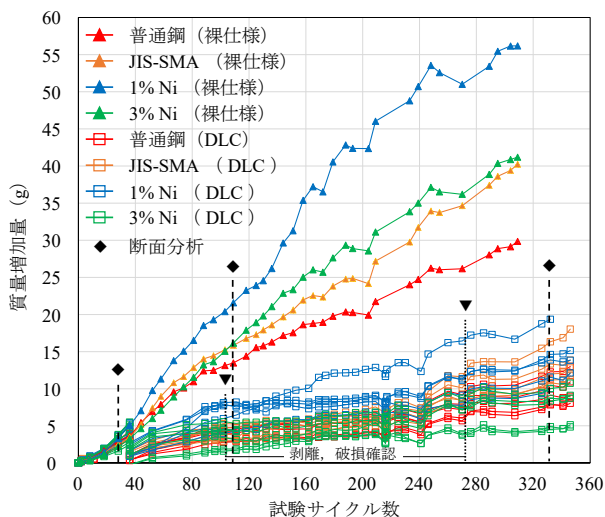


図-3 質量増加量

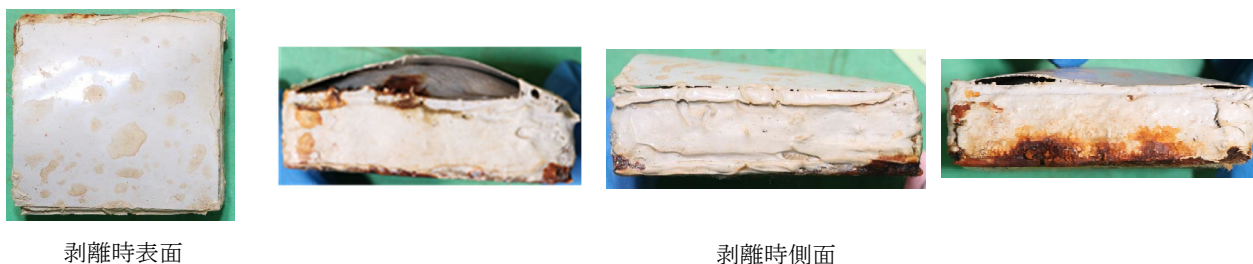


図-4 DLC シート試験片外観

4. DLC シート下で生成したさび層構造・組成分析

DLC シート貼付前後のさび層構造・組成の正確な評価を目的に、電子線マイクロアナライザー(以降, EPMA)およびラマンイメージングによる緻密なさび層の詳細分析を行った。図-5～図-7 に JIS-SMA 試験片の31, 111, 332 サイクル時点の断面分析結果として反射電子組成 (COMPO) 像, Cl 元素分布および組成分布を示す。裸仕様のまま塩化物環境下で異常腐食さびを生成させた31 サイクル時点(図-5)では、さび上層部は空隙の

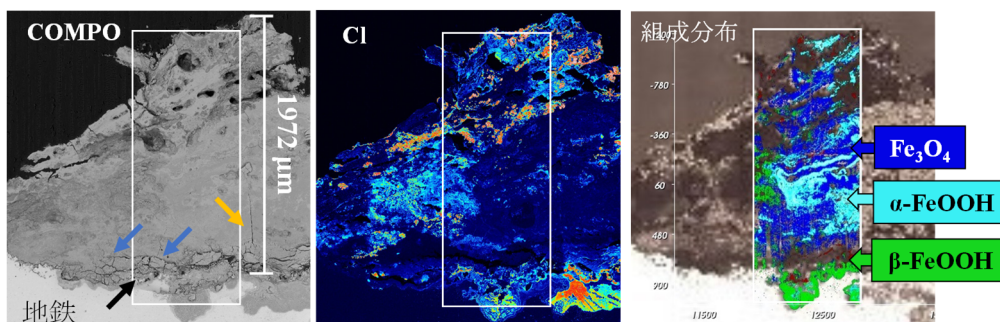


図-5 31 サイクル時点のさび層断面

多い構造であった。その下のさび層では、緻密なさび層が形成されていたが、縦断方向のひび割れ（黄矢印）、さび層の下側では亀甲状のひび割れ（青矢印）、地鉄とそのさび層の界面付近に約 $2\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ の水平方向のひび割れ（黒矢印）が生じていること、ならびに鋼地鉄付近の Cl が濃化している箇所局部的に $\beta\text{-FeOOH}$ 層が存在していた。貼付後の 111 サイクル時点（図-6）では、31 サイクル時点と同様にさび上層部は空隙の多い構造で、その下には緻密なさび層が形成されていたが、そのさび層と地鉄界面付近にはひび割れは形成されず、界面から少し離れた上部にさび層横断方向にひび割れ（赤矢印）が生じており、そこに Cl が濃化、 $\beta\text{-FeOOH}$ 層の存在が確認された。このように、31 サイクル経過時と比較して、Cl の濃化箇所が地鉄界面から上昇し、地鉄界面付近ではさび層と地鉄との密着が確認された。よって、本分析結果により、異常腐食部での緻密なさびの再生成を証明できたといえる。一方、シートの破損・剥離後の 332 サイクル時点では、図-7 のように、断面の切断作業中にさび層表層が剥離したのか、シートと鋼材表面の間は空洞となったが、地鉄界面に密着した緻密なさび層が残っていた。しかし、この地鉄界面に残存した緻密なさび層には、Cl が全体に分布しており、図中の橙色破線で囲った地鉄界面や、地鉄界面周辺に横断方向ひび割れ（赤矢印）が確認された地鉄界面に Cl の濃縮が確認された。これらの地鉄界面への Cl の濃縮は、シートの破損によって NaCl 水溶液が緻密なさび層内部に浸入し、その厚さが薄い箇所で地鉄界面にまで Cl が到達・濃縮したためと考えられる。

以上のように、DLC シート貼付による異常腐食部の環境遮断によって、腐食速度を緩やかにし、緻密なさびの再生成に成功したと言える。さらに、DLC シート破損後の実験結果を基に、緻密なさび層の再生成後も Cl が緻密なさび層へ侵入、地鉄界面付近に濃化して腐食速度が速まるといった緻密なさび生成から異常さびの生成に至るプロセスを示したことで、耐候性鋼の異常腐食部での局所的な環境悪化・改善に伴い「異常さび→緻密なさび→異常さび」となるさびサイクルが生じることも証明した。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：鋼橋の腐食耐久性・維持管理技術の高度化，JSSC テクニカルレポート，No.121，pp.I-177-178，2020.
- 2) 藤原博，田原芳雄：鋼橋塗装の長期防食性能の評価に関する研究，土木学会論文集，No.570，I-40，pp.129-140，1997.
- 3) 蓮池里菜，木下幸治，畑佐陽祐，竹尾拓真，宮地一裕：防錆剤を添加した凍結防止剤の鋼材腐食抑制効果の検討，鋼構造年次論文報告集，第 28 巻，pp.26-31，2020.

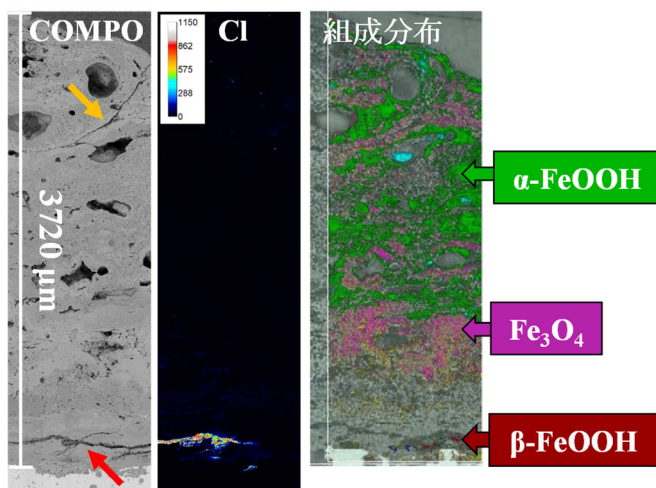


図-6 111 サイクル時点のさび層断面

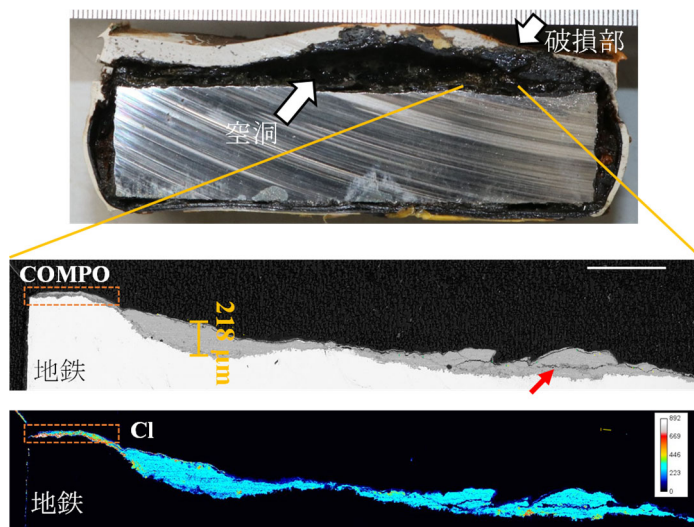


図-7 332 サイクル時点のさび層断面