

# 耐候性鋼材異常腐食部の環境遮断による腐食抑制効果と緻密なさび再生成

岐阜大学院 学生会員 ○馬場 梨瑛 岐阜大学 正会員 木下 幸治  
MK エンジニアリング株式会社 正会員 竹渕 敏郎

## 1. 背景・目的

表面に緻密な保護性さびを形成することで腐食を抑制し、無塗装で使用可能な耐候性鋼材は、現在多くの橋梁で使用されており、そのさび層による保護性機構について多くの研究がなされてきた。一方で、飛来塩分量の多い沿岸部や、塩化物系凍結防止剤が使用される地域では、保護性さび層が形成されず、異常腐食が発生している<sup>1)</sup>。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塗装補修が行われている<sup>2)</sup>が、本来の耐候性鋼材の機能を失う工法となっている。さらに、耐候性鋼材に生じた異常腐食部では、素地調整が普通鋼材より困難であり<sup>3)</sup>、再腐食を生じた事例も確認されている等、補修方法が大きな課題となっている。一方、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再生成を促す工法を開発できれば、塗装が不要なより経済的で簡易な補修が実現できると考えられる。そこで、本研究では、乾湿繰り返し腐食促進試験により、異常腐食を生成した耐候性鋼材に対して、環境遮断テープを貼付することで、緻密なさび層の再生成を促す補修方法を検討した。さらに、電子線マイクロアナライザー（以降EPMA）を用いた、さび層断面の構造分析により、緻密なさび層に対する検討を行った。

## 2. 試験体及び腐食試験概要と断面分析方法

表 1 に試験体鋼材種類およびその化学成分を示す。各鋼材 7 試験体の計 28 試験体（試験対サイズ 50×50×12mm）に対して試験を行った。まず、塩化物環境下での異常腐食さびを生成させるため、図-1 に示す乾湿繰り返し腐食促進試験を 36 サイクルおこなった。各鋼材 1 試験体を比較のため裸鋼材のまま 36 サイクル後も試験を継続した。残りの試験体は環境遮断テープ

表-1 試験体の化学成分

鋼材種類	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	
普通鋼 (SM490A)	0.17	0.33	1.43	0.015	0.005					
JIS-SMA (SMA400AW)	0.11	0.18	0.66	0.011	0.004	0.32	0.48	0.13	0	
1%ニッケル高耐候性鋼 (SMA400AW-MODIFIED-V12)	0.1	0.2	0.92	0.013	0.001	0.77	0.06	1.2	0.02	
3%ニッケル高耐候性鋼 (SMA400AW-MODIFIED-V15)	0.06	0.2	0.5	0.013	0.001	0.38	0.06	3.01	0.01	

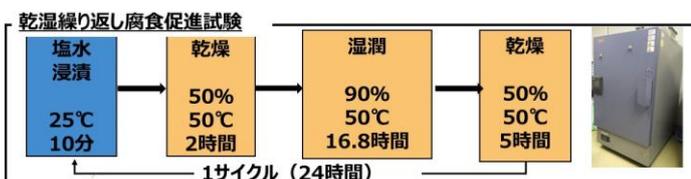


図-1 乾湿繰り返し腐食促進試験サイクル

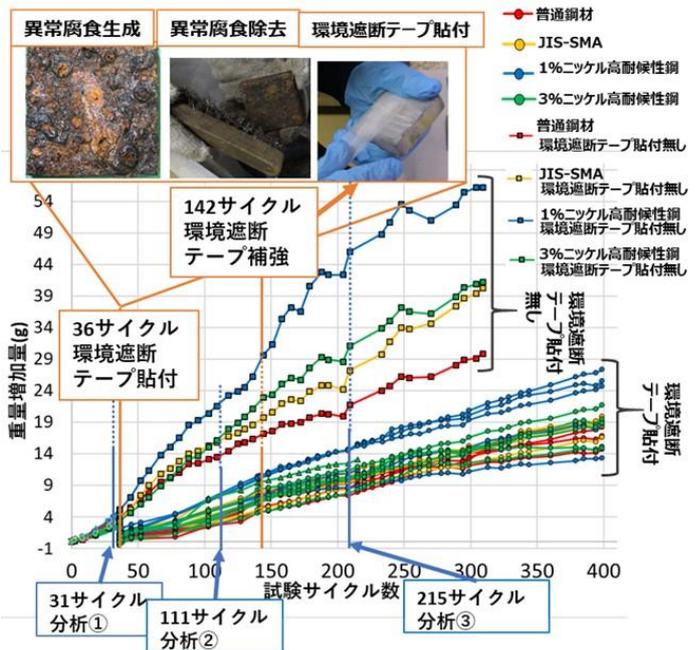


図-2 経過サイクル毎の質量増加量と実施事項

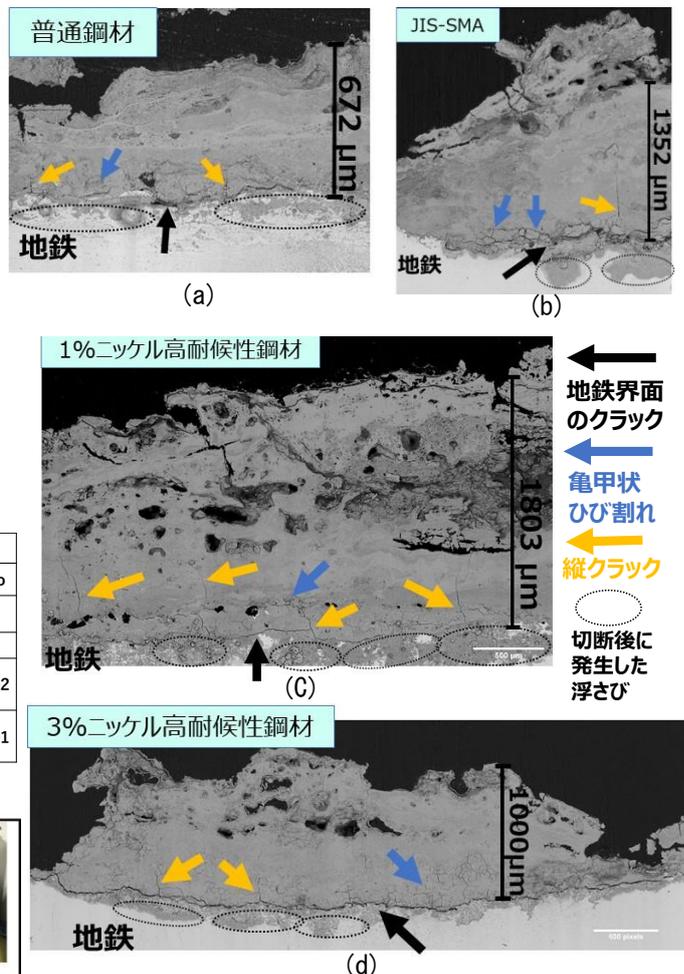


図-3 31 サイクル経過（異常腐食さび環境遮断テープ貼付前）さび層断面

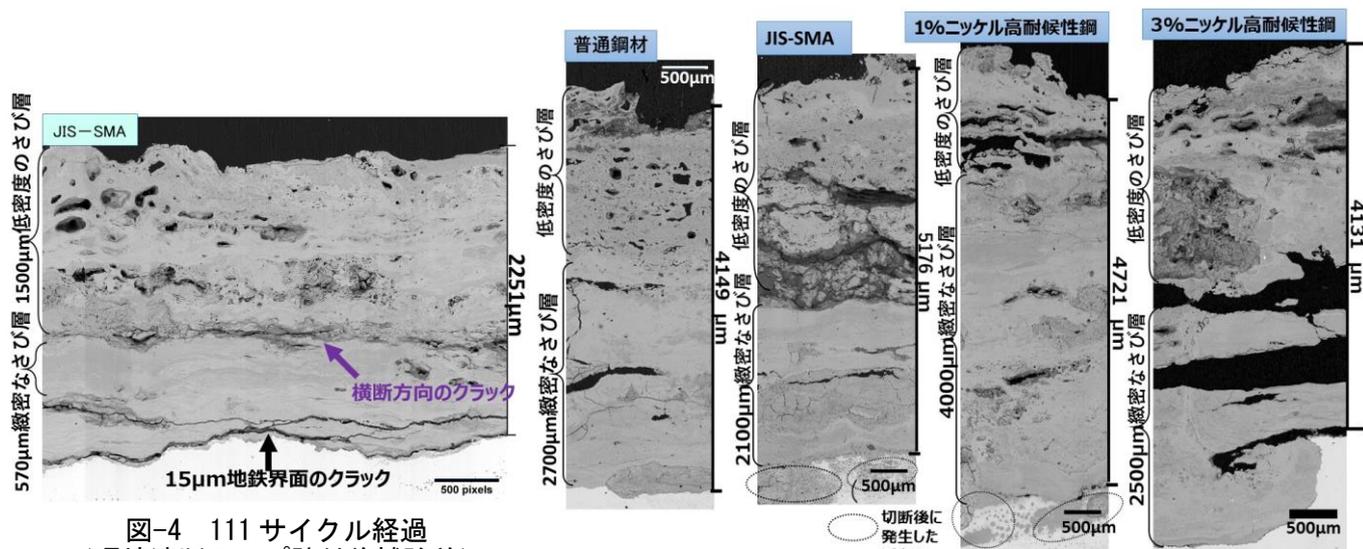


図-4 111 サイクル経過  
(環境遮断テープ貼付後補強前)  
さび層断面

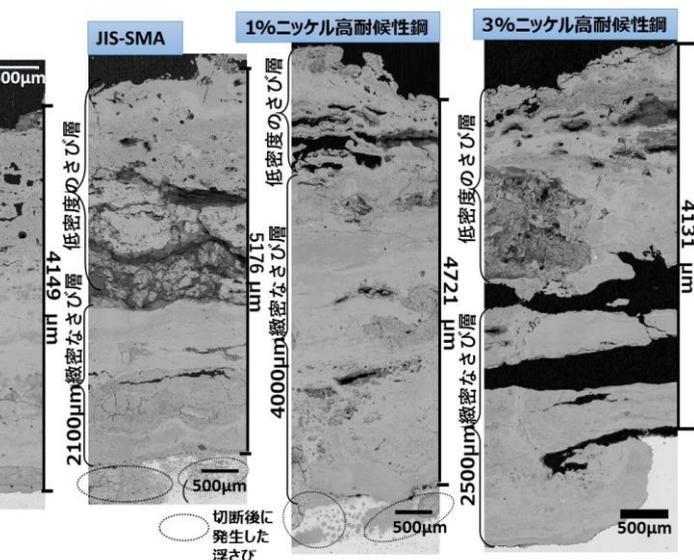


図-5 215 サイクル経過 (補強後) さび層断面

と試験体との密着性を高めるために、容易に落ちるさびをワイヤブラシによって除去したのちに、環境遮断テープを各試験体に貼り付け、再度乾湿繰り返し腐食促進試験を行った。ただし、140 サイクル前後で一部試験体の環境遮断テープに破れが発見されたため、142 サイクル経過時に全試験体の環境遮断テープの補強を行った(図-2)。腐食量は、経時的な腐食の進行を確認するため、さびを含む質量増加量を用いて評価した<sup>4)</sup>。さび層断面分析は、まず試験体を切断しエポキシ樹脂に埋め込んだ後に、耐水研磨紙やダイヤモンド懸濁液によるバフ研磨によって、断面試料を仕上げた。その後、EPMA 分析法により元素マッピング測定を実施した。測定は日本電子株式会社製の JXA-8530F を用い、加速電圧を 15kV、サンプリング時間を 10.0ms、検出信号を反射電子、Fe、O、P、Ni、Cr、Cu、Cl とした。

### 3. 腐食試験結果と考察

図-2 にサイクル毎の質量増加量を示す。図-2 より、環境遮断テープ貼付無しの試験体よりも環境遮断テープを貼付した試験体の重量増加が緩やかであることがわかる。このことから、環境遮断テープにより腐食の進行が遅れていることがわかる。

図-3, 4, 5 に 31 サイクル、111 サイクル、215 サイクル経過時のさび層断面反射電子像をそれぞれ示す。なお、環境遮断テープ貼付前の 31 サイクルでは各鋼材 1 体、環境遮断テープ貼付後補強前の 111 サイクルでは JIS-SMA 1 体、環境遮断テープ補強後の 215 サイクルでは各鋼材 1 体のさび層断面分析を実施した。図-3 より、全ての鋼材に共通して、31 サイクル経過時の異常腐食さびは地鉄とさび層の界面に約 2μm~20μm のクラックが生じていることがわかる(図-3 黒矢印)。さらに、さび下層で亀甲状のひび割れ(図-3 青矢印)と縦断方向のクラック(図-3 黄矢印)が入っており、さび上層部は穴隙の多い構造であった。図-4 より、111 サイクル経過時の JIS-SMA のさび層は、31 サイクル経過時と同様に、地鉄界面に 15μm ほどのクラック(図-4 黒矢印)が

確認できた。そのクラックの上側に厚さ 570μm ほどの緻密なさび層がみられた。その上にさび層横断方向のクラック(図-4 紫矢印)があり、約 1500μm の穴隙の多い密度の低いさび層が見られた。これより、横断方向のクラックより上層の低密度さび層は環境遮断テープ貼付前に生成されたさび層であり、下層の緻密なさび層は環境遮断テープ貼付後に生成されたさび層であると考えられる。図-5 より、215 サイクル経過時では、全ての鋼材に共通して、低密度のさび層が上層に見られた。また、215 サイクル経過時では、111 サイクル経過時よりも厚い、約 2100μm~4000μm の緻密なさび層が見られた。これより、普通鋼材、各種耐候性鋼材共に、緻密なさび層が再生されていることが確認できた。全ての鋼材の地鉄付近では、さびと地鉄が隙間なく密着しており、地鉄界面にクラックは見られない。しかし一方で、試験体切断面全体では、EPMA 測定箇所以外で、地鉄界面にクラックが入っている箇所があった。

### 結論

異常腐食が発生した耐候性鋼材及び普通鋼材に対して、環境遮断テープ貼付により、緻密なさび層を促すことが可能であることを実験的に確認した。

### 謝辞

環境遮断テープをご提供いただきました、デンカ株式会社の藤間誠司氏、試験片作成及び、EPMA 分析にご協力いただいた岐阜県産業技術総合センターの山口貴嗣氏に厚く御礼申し上げます。

### <参考文献>

1) (社) 日本鋼構造協会: テクニカルレポート No.107 「耐候性鋼梁の維持管理技術」, pp.80-91, 2015. 2) 日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 丸善出版, pp.III-61-63, 2014 3) 土木学会鋼構造委員会: 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策, 鋼構造シリーズ, pp.230-231, 2019. 4) 蓮池里菜, 木下幸治, 畑佐陽祐: FT-IR を用いた非塩化物系凍結防止剤による腐食速度低減効果の検討, 鋼構造年次論文報告集, pp.704-707, 2017.