

中山間地域で27年間曝露された耐候性鋼試験片のさびと表面処理皮膜の性状

土木大学 正会員 ○武邊 勝道
 土木大学 正会員 大屋 誠
 土木大学 正会員 広瀬 望

1. はじめに

耐候性鋼はその表面に保護性のさびが形成されることで高い耐腐食性を示す鋼材である。保護性さびの形成には数10年以上かかるのが普通であり、自然環境下での耐候性鋼の腐食生成物の性質を検証するには長期間の曝露試験などが必要となる。長期曝露試験の報告例としては、三沢ほか¹⁾による工業地帯に26年間曝露された試験片の分析や、塩谷ら²⁾による臨海地帯に27年間経過した実橋梁の分析、長澤ら³⁾による相模原で44年に曝露された鋼材の分析などがある。また、原ら⁴⁾は、様々な供用年数の耐候性鋼橋梁の鋼板に対して、その腐食状況および腐食生成物の組成について報告している。本研究では、中国山地の山間地の耐候性鋼橋梁周辺で27年曝露された試験片について報告する。

2. 分析対象

試験片は、中国山地内の島根県奥出雲町にある耐候性鋼橋梁周辺に、平成元年～平成28年の27年間曝露されてきた。この地域は海岸から約50 km離れており、自然界の腐食環境は穏やかであると考えられる。裸仕様と表面処理仕様の2種類の試験片が、桁端部付近の、最外桁の桁外部分と北側から二つ目の桁周辺の桁内部分で、水平曝露と垂直曝露されてきた。初期重量が930 gで、形状が100×150×8 mmであることより詳細な初期重量や厚さは不明である。本研究では、試験片の膜厚、イオン透過抵抗値、腐食減耗量を分析した。また、裸仕様試験片では、断面の偏光顕微鏡観察、腐食生成物の蛍光X線回折分析を行った。

3. 結果および考察

3. 1. 外観、膜厚、イオン透過抵抗値

桁外の裸仕様の試験片の膜厚は150～300 μmで裏面の膜厚がより厚い。桁内の水平曝露試験片の上面の膜厚はその他の膜厚に比べて厚い。イオン透過抵抗値は0.5～数kΩで、裏面の方がより低い。桁外曝露試験片の表面はイオン透過抵抗値がより高く、数kΩに達する。

桁外の表面処理仕様試験片の大部分では、表面処理剤が初期に近い状態に残る。表面では部分的に表面処理剤の退色が見られる。膜厚は、ほとんどの場合110 μm前後である。桁内の水平曝露試験片では、表面の3割程度が赤褐色のさびやさび汁で覆われている。垂直曝露試験片の表面では、数mm以下の点さびが全体の1割程度を占め、その間の部分には表面処理剤が残っている。桁内曝露試験片の膜厚は桁外に曝露されたものと比べて数10 μm程度厚い部分もある。ほとんどの表面処理仕様試験片のイオン透過抵抗値は数10～数100 MΩである。ただし、桁内の水平曝露の表面は数～数10 kΩの抵抗値を示し、裸仕様試験片の中では最も大きい。

イオン透過抵抗法では、裸仕様試験片はI-5やI-4に分類され、保護性さびが形成されつつあると考えられる。相対的には、桁外の曝露試験片と桁内の水平曝露試験片の表面の腐食がより進んでいる。

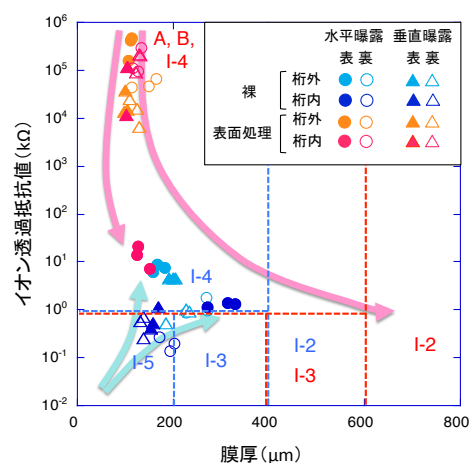


図1 曝露試験片のイオン透過抵抗法によるプロット⁴⁾。青とピンクの矢印は、それぞれの裸仕様と表面処理仕様の腐食の経路⁴⁾を示す。

キーワード 耐候性鋼橋、曝露試験片、長期曝露

連絡先 〒160-0004 東京都新宿区四谷1丁目(外濠公園内) (公社)土木学会 全国大会係 TEL 03-3355-3442

桁内水平曝露の表面処理仕様試験片はイオン透過抵抗値が低く、表面処理皮膜がさびに換わりつつあると考えられる。

3. 2. 裸仕様試験片の腐食生成物の組成

裸仕様試験片の腐食生成物は、 α -FeOOH が 10 数%, β -FeOOH が 1~5%, γ -FeOOH は 5~10%, 非晶質さびが 75~81% で、磁鉄鉱は検出されなかった。 β -FeOOH が少ないことは、海塩の飛来量が少ないことと対応している。図 2 に α -FeOOH と γ^* ($\gamma^* = \gamma$ -FeOOH + β -FeOOH + 磁鉄鉱) と非晶質成分の三成分の割合を示した。原ら⁵⁾による山間地の耐候性鋼橋梁鋼板の分析では、腐食生成物の組成が、曝露年数 10 年以下の間は $0 < \alpha/\gamma^* < 2$ で、10 年以上すると、さびの安定化に伴い α -FeOOH が数 10% 程度へ増加し、 $\alpha/\gamma^* \geq 2$ へ変化することが報告されている。今回分析した試験片は、原ら⁵⁾の報告例に比べると α -FeOOH が少なく非晶質さびが多く、 $1 < \alpha/\gamma^* < 2$ の値を示す。イオン透過抵抗法では、曝露場所や部位による腐食性状の違いが見られたが、さび組成からは明確な傾向は確認できなかった。

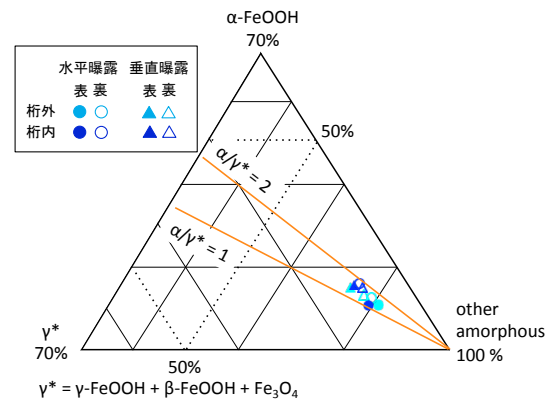


図 2 裸仕様試験片の腐食生成物組成の三元系ダイアグラム

3. 3. 板厚減耗量

試験片の詳細な初期重量および初期寸法が不明瞭であるため、板厚減耗量は大まかな推定値のみが得られた。裸仕様試験片の片面板厚減耗量は 0.12~0.16 mm で、桁外の腐食減耗量がより高い。裸仕様の耐候性鋼橋梁の適応が許容される耐腐食性能レベル I は片面板厚減耗量が 0.5 mm/100 年以下⁶⁾または 0.3 mm/50 年以下⁷⁾である。今回分析した 27 年間経過した試験片の減耗量のほとんどは、0.3 mm の半分以下である。一般に、腐食減耗量速度は時間とともに低下するため、50 年後の減耗量が現在の値の倍になるとは考えられない。したがって、今回分析した試験片が曝露された環境は耐腐食性能レベル I を満たす地域であると言える。

表面処理仕様の板厚減耗量は 0.02~0.1 mm で、裸仕様と比べるとより減耗量が少ない。特に、板厚から推定した減耗量は 0.04 mm 以下であった。表面処理仕様では、水平曝露の計算上の減耗量が相対的に高く、一方で、桁の内外での差は不明瞭であった。表面処理仕様試験片には表面処理剤が表面に残っていることから、実際の板厚はほとんど減耗していないと考えられる。

4. まとめ

島根県の山間地に 27 年間曝露された耐候性鋼の裸仕様と表面処理仕様の試験片を回収し、分析を行った。裸仕様試験片はイオン透過抵抗法の区分の I-5 と I-4 に区分され、部分的に保護性さびに置き換わりつつある。裸仕様試験片の腐食生成物の組成は、 α -FeOOH が 10 数%, β -FeOOH が 1~5%, γ -FeOOH は 5~10%, 非晶質さびが 75~81% で、磁鉄鉱は検出されなかった。表面処理仕様試験片には表面処理剤が残存しており、大部分のイオン透過抵抗値は数 10~数 100 M Ω と高い。桁内に曝露された表面処理仕様試験片の表面のみイオン透過抵抗値が低下し、表面処理剤からさびへの置き換わりが起き始めていると考えられる。

謝辞

本研究で分析した試験片の採取および橋梁周辺の調査に関しては、島根県土木部にご配慮頂いた。また、本研究で用いる分析方法について、新日鐵住金(株)の長澤 慎博士にご助言頂いた。ここに記して感謝申し上げます。この研究は、JSPS 科研費 JP16K06481 の成果の一部をまとめたものである。

参考文献

- 1) 三沢ほか, 鉄と鋼, v. 79, 69-75, 1993.
- 2) 塩屋ほか, 材料と環境, v. 49, 67-71, 2000.
- 3) 長澤ほか, 土木学会第 71 回年次学術講演会 I-042, 2016.
- 4) 今井ほか, 土木学会論文集 A1, v. 69, 283-294, 2013.
- 4) 原ほか, 鉄と鋼, v. 87, 43-48, 2001.
- 5) JSSC テクニカルレポート, No. 73, 2006.
- 5) 建設省土木研究所ほか, 耐候性鋼鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XX), 1993