

塗装さび鋼板の素地調整程度と塗膜変状面積率に関する考察

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂本 達朗

1. 目的

鋼構造物の防食を目的とした塗装では、塗替え時に十分にさびを除去することが困難な箇所において早期に塗膜劣化を生じることが経験的に知られている。このため、塗膜の耐久性を評価する場合、さび鋼板に塗装したものを試験片とした室内促進劣化試験が行われることが多い。しかしながら、さびの性状と塗膜の耐久性について詳細に検討された事例は少ない。そこで本稿では、鋼材の素地状態と塗膜の耐久性の関係を把握することを目的として、各種の素地調整方法によってさびの除去程度を変えたさび鋼板に塗装したものに対して室内促進劣化試験を実施した結果について述べる。

2. 試験方法

2. 1 試験片

試験鋼板は片面をエポキシ樹脂塗料で塗装したサンドブラスト処理 SS400 冷間圧延鋼板 (150×70×3.2mm) とした。0.01wt%塩化ナトリウム水溶液を 168 時間もしくは 840 時間噴霧して鋼面を腐食させ、表 1 に示すワイヤブラシ、カップワイヤーまたはブラストによる素地調整方法によってさびを除去した後に、塗装系 B-7 相当 (鉛・クロムフリーさび止めペイント 2 回塗+長油性フタル酸樹脂塗料 2 回塗) を塗装したものを試験片とした。

2. 2 室内促進劣化試験

促進劣化試験には、複合塗膜の耐久性評価試験方法として用いられる鉄道総研式複合サイクル試験を用いた¹⁾。本サイクル試験の試験条件を表 2 に示す。

2. 3 評価方法

塗膜表面に観察される変状をサイクル毎に観察し、塗膜変状面積率を算出した。このとき、塗膜が高い耐久性を有する場合には、塗膜変状が進行するのに長時間を要する場合がある。そこで、塗膜変状速度に関する理論を適用して、変状程度の予測を試みた。一般に、促進劣化時間と塗膜変状程度の関係は、生物曲線 (ロジスティック) を描くとされている。そこで、各サイクルにおける塗膜変状面積率の算出の他に、11 サイクルまでの試験結果を基にしたロジスティック回帰を行ない、一定の変状面積率に達すると想定されるサイクル数を計算した。ロジスティック関数には、下記の式 (1) および式 (2) を用いた。

$$p(x) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (1)$$

$$Z = \alpha + \beta \quad (2)$$

$$\ln(L) = \sum_{j=1}^m \left[d_j \times \ln(p(x_j)) + (n_j - d_j) \ln(1 - p(x_j)) \right] \quad (3)$$

なお、 α 、 β は、式 (3) に示す尤度関数 (L) を最大にするときの値となる。 d_j は塗膜変状面積率、 m は実施したサイクル回数であり、最終的に塗膜全面が変状すると仮定して $n_j=100$ とした。

表 1 さび鋼板の素地調整方法

処理方法	概要
ワイヤブラシ	浮きさびを除去し、固着するさびは残す。
カップワイヤー処理	目視可能な固着さびを除去する。
ブラスト処理	殆どの固着さびを除去する。

表 2 鉄道総研式複合サイクル試験条件

行程	試験名	試験時間	次の行程
1	オゾン暴露	12h	2
2	人工海水噴霧	4h	3
3	模擬濃縮雨水噴霧	44h	4
4	乾燥	48h	2

注意：行程 2 から行程 4 の作業は、1 サイクルにつき 3 回繰り返す。

キーワード 鋼鉄道橋、塗膜下腐食、さび、複合サイクル試験、塗膜膨れ

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7339

3. 試験結果

サイクル経過に伴い、試験片表面に大きさの異なる塗膜膨れが塗膜変状として発生した。サイクル回数と塗膜変状面積率の関係について、実測値（ $n=2$ ）とロジスティック回帰曲線を示したものを図 1 に示す。なお、ブラスト処理した試験片では微細な塗膜膨れがわずかに発生したのみであり、本結果からは割愛した。

ワイヤブラシ処理によって固着さびを残した試験片では実測値と回帰曲線がよく一致し、回帰曲線から塗膜変状面積率を推定できる可能性が得られた。その一方で、カップワイヤー処理により目視可能な固着さびを除去した試験片では、実測値と回帰曲線が一致せず、サイクル数の経過に伴って実測値が回帰曲線を下回ることが確認された。これは、回帰曲線の算出にあたって仮定した最終的な塗膜変状面積率が 100% ではないことを示唆している。

ワイヤブラシ処理したさび鋼板の塗装前の外観を図 2 に示す。さびは大きく明るい色相と暗い色相に区分されており、さびの性状が部分的に異なっていることを示す。塗膜膨れは、主として暗い色相の個所で生じており、それ以外の個所では殆ど塗膜膨れを生じていない傾向にあることが確認された。

大気環境において生成されたさびの主な結晶成分はマグネタイト（ Fe_3O_4 ）、ゲーサイト（ $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ）およびレピクロサイト（ $\gamma\text{-FeO(OH)}$ ）である。過去の報告において、暗い色相はレピクロサイトと X 線回折的被消失成分の反応によって生成されたマグネタイト（ Fe_3O_4 ）の増加領域であり、当該領域の直下に濃縮する塩化物イオン nests の影響によってマクロセル腐食が生じ、鋼素地／さび界面がアノード、表層に近いさびがカソードとなることが考察されている²⁾。これらを考慮すると、明るい色相のさびが観察される個所では素地調整が十分に行なわれたのに対して、暗い色相のさびが観察される領域ではマクロセル腐食の進行によって板厚が減少しており、カップワイヤー処理を行なっても微細な凹みの中でさびが残存した可能性がある。さらに、このさびには腐食を促進する塩化物イオンが比較的多く含まれていると考えられる。このため、塗膜変状はさびの残存が推定される暗い色相の領域で生じたため、最終的な塗膜変状面積率が 100% 以下になったと推定される。

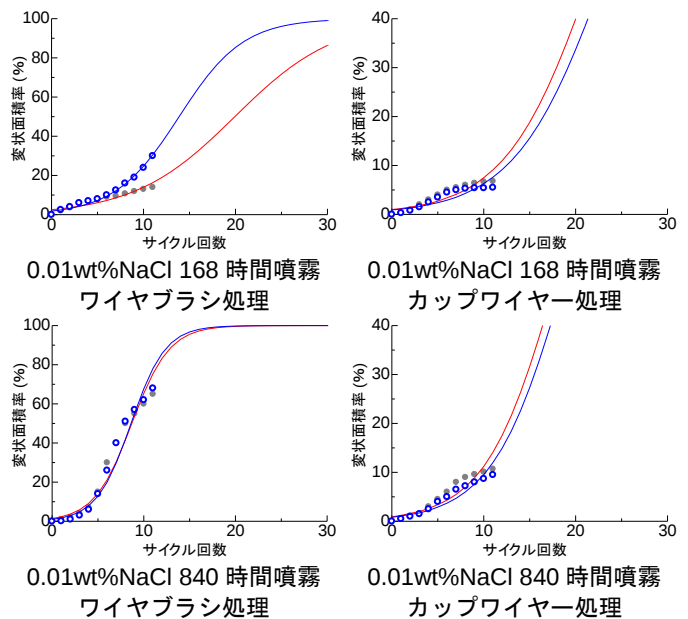


図 1 複合サイクル試験結果

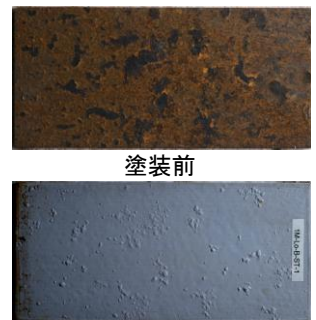


図 2 試験片外観

4. まとめ

鋼材の素地状態と塗膜の耐久性の関係の把握を目的として、各種の素地調整方法によってさびの除去程度を変えたさび鋼板に塗装したものに対して室内促進劣化試験を実施した。以下に得られた知見を示す。

- ・固着さびを残して塗装した場合、ロジスティック回帰を用いることで塗膜変状程度を促進時間から推定可能性であることを確認した。
- ・目視可能な固着さびを除去して塗装した場合、さびの残存個所に偏りがある等の理由により、最終的な塗膜変状面積率は 100% にならないことが推定された。

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針 2013.12
- 2) 田中, 桐村, 江成, 村田, 町田：さび面用塗料の耐久性, 鉄道総研報告, Vol.5, No.5, 1991.5