

鋼鉄道橋の塗膜調査と劣化要因分析

鉄道総研 正会員 田中 誠

鉄道総研 正会員 坂本 達朗

1. はじめに

鉄道設備の維持管理は、鉄道の安全・安定輸送確保の上で重要な課題との認識で古くから検査・点検・補修・補強の要領が定められ、適切な維持・管理がなされてきた。これによって設備の変状を原因とする重大な鉄道事故は回避されてきている。一方で、健全な運営の維持には、維持管理経費の縮減も大きな課題である。そこで、適切な維持管理と経費節減の両立が技術開発の重要なテーマである。

鋼鉄道橋の安全・安定輸送に影響する内的要因（鋼材の特性）からの変状には、鋼材の腐食と金属疲労が挙げられ、維持管理における重点検査項目となっているが、腐食に関しては、金属疲労によるき裂進展に比較して、変状の進展が遅いため、とすると維持管理者の関心が低くなり、鋼材の欠食に至るまで放置されるなど補修・補強に多くの経費を必要とする場合が見受けられる。ライフサイクルでの経費節減には、このような事態を回避する必要がある、実構造物における腐食現象の理解と適切な防食対策の研究・開発が求められている。

ここでは、鋼鉄道橋の塗膜劣化の実態調査結果と塗膜劣化に影響する塗膜性能に関する考察結果を報告する。

2. 塗膜調査方法

(1) 調査対象橋りょう

塗膜調査は、離岸距離（設置個所から最近接海岸までの距離）、構造、架設後経過年数、前回塗装からの経過年数が異なるように対象橋りょうを選定して行った。図1に調査橋りょうの架設後経過年数の分布を示す。架設後90年を越えるものから架設後15年未満まで広く分布している。

(2) 塗膜劣化調査方法

塗膜の防食性能低下に関連する“さび”、“塗膜割れ・はがれ”などの変状程度を「鋼構造物塗装設計施工指針」¹⁾に

準拠して、橋りょうの部材別に目視観察で評価した。具体的には、構造物構造の違いにより観察部材・部位を分けて、それぞれの部位での“さび”、“塗膜割れ・はがれ”の程度を見本写真（例を図2）との比較から0（変状無し）から5（変状面積比で12%以上）の6段階で評価した。次いで、構造物全体としての塗膜劣化度は、それぞれの部材・部位の重要度で重み付けした塗膜劣化評点の合計点（表1）で評価した。なお、評価に際しては、目視ではあるが、見本との対比で変状面積率での評価も行なった。

(3) 架設環境、架設後経年の区分

塗装鋼の劣化に大きく影響する自然環境因子として、飛来塩分が挙げられる。海で発生した海塩粒子は、その発生機構や粒径等で飛来挙動が異なることが知られている²⁾。粒子径の大きい海塩粒子は、重力落下の影響及び飛来経路中の障害物の影響を強く受ける。そこで、橋りょうの架設環境の区分として便宜的に離岸距離2km未満、2km以上に分け、さらに2km未満の場合には、橋りょうと海までの間に存在する障害物が多い場合に、“障害物あり”として“障害物なし”と区分した。

鋼鉄道橋は、製造年代で使用鋼材種や鋼材表面処理方法が異なるので、現行の鋼材に近いSS41材が使用され始めた1940年、溶接とブラストが本格的に採用され始めた1970年、すなわち、架設後35年以下、36～64年、65年以上に分類して調査結果を整理した。

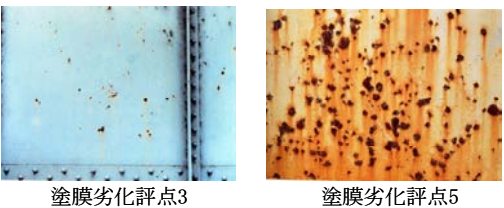


図2 塗膜劣化見本写真¹⁾

見本写真を1m四方の塗膜変状状況と見立てて、観察個所の変状程度と比較し評価する。

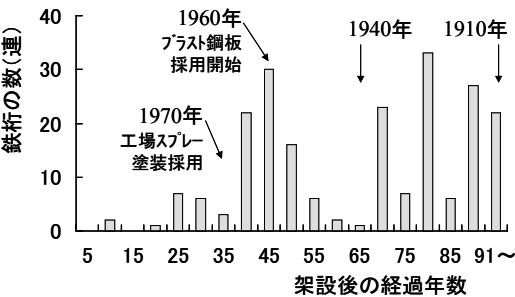


図1 調査橋りょうの架設後経過年数の分布

表1 構造物全体での塗膜劣化度評価

合計点	劣化度	状態
32～40	PI	塗装時期を逸し、鋼の腐食進行
24～31	PII	早急に塗り替えるべき状況
16～23	PIII	適切な塗替え塗装時期
0～15	PIV	景観性等の必要に応じて塗装

3. 塗膜調査結果

調査対象の塗膜は、鉄道分野で塗装系 B と称する「鉛系さび止めペイント 2 回塗り＋長油性フタル酸樹脂塗料中塗り＋上塗り」（道路分野では塗装系 A と称する）である。

(1) 塗膜割れ・はがれ

塗膜変状のうち、“さび”を除いた“塗膜割れ・はがれ”評点の整理結果を図 3 に示す。架設後 35 年以下では 90% ほどが評点 1 以下、すなわち塗膜に割れ、はがれはほとんど観察されていない。劣化評点 4 と評価されたものは、溶接個所での“塗膜はがれ”、漏水個所での“塗膜はがれ”と塗装時の溶接個所の処理不足や漏水の影響によるもので、塗膜性能に起因するものではなかった。

架設後 36～64 年の橋りょうでは評点 4 以上の“塗膜割れ・はがれ”（図 5 左下に極端な例）が約 30% に至り、架設後 65 年以上では 50% 以上と、橋りょうの経年と共に増加している。詳細に観察すると、“塗膜割れ・はがれ”は、旧塗膜が厚く堆積している個所で発生しており、過去の塗替え塗装で旧塗膜をはく離した個所では観察されていない。

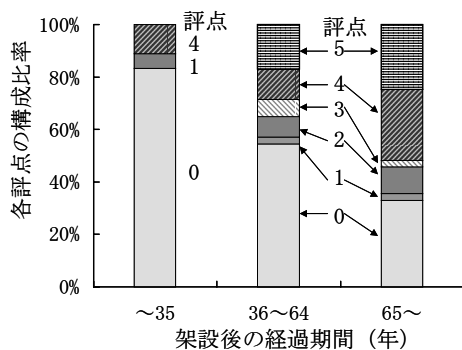


図 3 経過年数別の“塗膜割れ・はがれ”程度
“さび”評点を除いたデータ中の“塗膜割れ・はがれ”評点の比率

(2) “さび”発生

架設後 35 年以下で、塗替え塗装を実施していない橋りょうの塗膜（新設時塗膜）は、離岸距離によらず塗装後 15 年程度までに塗替え塗装が必要なほどの塗膜劣化に至るものがなかった。しかしながら、塗替え塗装を 1 回以上経験

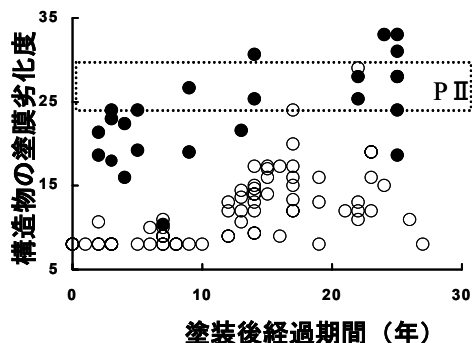


図 4 環境の腐食性別の塗膜劣化（さび）傾向

“塗膜割れ、はがれ”面積率 1% 以下で“さび”と評価されたデータのみ
●：離岸距離 2km 未満で障害物なし、○：●以外の環境
図中の点線の囲みは、早期に塗替え塗装を実施すべき塗膜劣化状況を示す。

した塗膜では、図 4 に示すように、架設環境で著しく異なる傾向が認められた。離岸距離 2km 未満で海との間に障害物のない橋りょうでは、前回塗替え塗装時に腐食していた個所と同一個所で、塗膜下腐食進行³⁾（図 5 左上写真）による変状が早期に発生している。

一方、離岸距離 2km 以上や離岸距離 2km 未満でも海までの間に障害物のある場合は、塗替え塗装が必要な状況までの塗膜劣化に 15 年以上要し、その劣化形態は図 5 右下に示す塗膜の消耗による全面腐食や塗膜欠陥部からの点さび発生であった。



図 5 塗膜劣化の分類と関連する塗膜性能

4. 塗膜劣化に影響する塗膜性能

調査結果から、塗膜劣化は、①塩害環境での前回腐食個所での塗膜下腐食、②非塩害環境での旧塗膜の老化と塗り重ねによる過大膜厚からの塗膜割れ・はがれ、③上塗り塗膜からの塗膜消失で薄膜化した個所や塗膜微小欠陥部からの点さび発生の 3 種の現象に分類された。

これらの劣化現象に寄与する塗膜性能としては、①に対しては塗膜を拡散・浸透する水・酸素（腐食反応を維持する成分）の遮断性能³⁾が、②に対しては塗膜を拡散・浸透した酸素・水分による樹脂成分の耐化学反応性（耐老化性）が、③に対しては紫外線、水、酸化物による塗膜表面樹脂の分解・消耗に対する抵抗性（耐減耗性）が挙げられる。

現時点では、これらの塗膜性能を的確に評価する手法が整備されていない。従って、超長期耐久が期待できる塗装系開発や架設環境における塗膜寿命評価には、これらの塗膜性能を的確に評価する手法の確立が望まれる。

《参考文献》

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鋼構造物塗装設計施工指針，研友社，2005
- 2) 鳥羽良明：“海塩粒子－待機と海洋との相互作用の一要素として－”，海と空、Vol.41、No.3、No.4、PP.71-118、1966
- 3) 田中誠：“塗装さび鋼板のさび層構造と塗膜耐久性”，防錆管理、Vol.34、No.11、p.479、1990