鉄道橋の腐食実態と対策

田 中 誠*

* 財団法人鉄道総合技術研究所 研究室長

Corrosion of Painted Steel Railway Bridges and its Countermeasures

Makoto Tanaka*

* Senior Researcher Laboratory Head, Railway Technical Research Institute

In maintenance management of a painted steel railway bridge, appropriate corrosion prevention measures are needed. For establishing effective corrosion prevention measures, it is important to make clear classifications of coating degradation patterns. Accordingly we made a lot of observations on coating films of numerous bridges. The results of the observations showed that a coating degradation could be classified into some patterns, and that the coating degradation patterns (such as corrosion under coating, checking of coating, and peeling of coating) were affected by construction environment and bridge ages.

Key words : steel railway bridges, coating film degradation, corrosion, corrosion protection

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業務との認識から、古くから検査・点検・補修・補強の要領が定められ、適切に実施されてきた。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となる。構造物の例では、変状原因究明、検査技術、変状防止対策技術などについて、構造物のライフサイクルを考慮した技術開発が必要不可欠となる。

鋼製橋梁（鋼鉄道橋という）においては、安全・安定輸送に影響する内的要因（鋼材の特性）にかかわる変状には、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。この中で腐食に関しては、金属疲労による疲労き裂進展に比較して変状の進展速度が遅いため、とすると維持管理者の関心が低くなり、安全性に影響しないまでも、耐力低下となる鋼材欠食状態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、鋼鉄道橋の実態と腐食現状（塗装塗膜の劣化）、及び鉄道における防食対策の現状について解説する。

2. 鋼鉄道橋の現状

2.1 鋼鉄道橋の歴史

鋼鉄道橋の歴史は、1874年（明治7年）に東海道線大阪・神戸間に架設された鋸鉄製のトラス橋梁から始ま

る。その後数多くの橋が架けられてきた。現時点で100年を超えるものも少なくない。さらに、管理対象となる鋼鉄道橋は、架設された年代で構造形式、鋼材材質、及び接合方法などが異なり、多種多様である。

鋼鉄道橋の腐食・防食の現状理解には、構造形式のみならず、使用する鋼材種、接合方法、プラスト鋼板の採用や塗料種の変遷などを踏まえておく必要がある。

2.2 鋼鉄道橋の取り換え実態

鋼鉄道橋は4万連を超え、その平均的な供用年数は70年を超えている。所定の維持管理を行っていても、想定外の条件が重なり、何らかの措置（補修、補強、取り換えなど）が必要な変状（腐食、疲労き裂、ボルト等の緩み、変形など）に至っている鋼鉄道橋も少なくない。過去の調査例¹⁾をみると、年間で0.2%ほどの鋼鉄道橋が取り替えられている。そのうち半数以上は、河川改修、道路拡幅など部外工事との関連や、線路増設、輸送量増加など運輸形態変更などによるものであるが、残りの鋼鉄道橋は、安全上放置できない程度の変状に至ったことで取り替えられている。変状が原因で取り替えられた鋼鉄道橋の半数以上は、腐食が原因で取り替えられている。

2.3 鋼鉄道橋の防食対策の変遷

1874年以降に多くの鋼鉄道橋が建設された。その防食対策の選定及び施工は設計者及び維持管理者に任されていた。その後1943年に「土木工事標準示方書」として、鉄道で初めて塗装仕様が標準化された。この塗装仕様は、天然油脂を用いた現場調合型鉛丹及び止めペイント2回塗りに現場調合型赤錆びペイント1回塗りである。初の塗装仕様標準化に至ったが、第二次世界大戦の最中であり、まもなくして物資不足のため、終戦後しばらくは塗替え塗装できずに放置された。このため、終戦後の鋼鉄道橋には激しい腐食に至っているものも少なからずあり、これらの構造物の防食対策が問題となった。そこで、1950年代後半から防食塗装の研究が本格的に開始され、鋼鉄道橋を架設環境の腐食性で2区分し、それぞれでの新設時及び塗替え塗装時に適用する塗装仕様が1963年

* 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (2-8-38, Hikari-cho Kokubunji-shi, Tokyo 185-8540 Japan)

から 1965 年にかけて標準化された。これが鉄道で現在採用している塗装による防食対策の技術的根拠となる「鋼構造物塗装設計施工指針」²⁾の発端といえる。

同時期に、本州と四国を連絡する道路・鉄道併用橋が計画(1959年)され、1965年からAルート(明石・鳴門ルート)とDルート(児島・坂出ルート)において海上いかだを用いた長期防食塗装の研究が開始された。この研究は、その後発足した本州四国連絡橋公団に引き継がれた。ここで得られた成果は、鉄道の塗装仕様改訂に反映され、五能線の吾妻川橋梁と行合川橋梁での施工試験を経て1976年に、現行の長期防錆型塗装仕様(ジンクリッチペイント、エポキシ樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料を用いた塗装仕様)として採用された。1980年には、鋼鉄道橋に初めて耐候性鋼を適用した第三大川橋梁を皮切りに、1999年までに100を超える耐候性鋼製鉄道橋が建設された。また、ニッケル含有量の多い高耐候性鋼も、1999年に建設された北陸新幹線北陸道架道橋を初めにして、適用が増えつつある。さらに、溶融亜鉛めっき鋼を用いた鋼鉄道橋の建設事例も見られるようになり、金属溶射の適用も検討されつつある。このように、現在の鋼鉄道橋には各種の防食対策が適用されている。しかし全体としては架設後経過年数の多い鋼鉄道橋が圧倒的に多く、防食対策の主流が塗装である状況はこしばらくは変わらない。

3. 鋼鉄道橋の腐食(塗膜劣化)実態調査

200連を超える鋼鉄道橋の塗膜調査結果^{3), 4)}を次に紹介する。鋼鉄道橋の調査を、離岸距離(設置箇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線区を選定して行った。図1には、調査した鋼鉄道橋の架設後経過年数の分布を示す。調査対象とした鋼鉄道橋は、架設後90年を超えるものから架設後15年未満の新しいものまで広く分布している。55~65年前は、第二次世界大戦中及びその直後に相当し、物資不足などでほとんど建設されていない。また対象とした線区では、35~40年前までになされた輸送力増強のための複線化など大きな工事が終り、新たに建設される鋼鉄道橋の数が大幅に減っている。

3.1 調査方法

調査は、目視及び双眼鏡を用いた観察で行った。

(1) 塗膜変状の観察方法

塗膜の“さび”、“割れ・はがれ”などの変状程度を

図1 調査した鋼鉄道橋の架設後経過年数の分布

「鋼構造物塗装設計施工指針」に準拠して、部位別に評価した。具体的には、構造物構造の違いにより観察部位を分けて、それぞれについて塗膜劣化評点を付ける。次いで、構造物全体としての劣化度の評価を、それぞれの部位の重要度から重み付けした塗膜劣化評点の合計点で行う。

引張荷重や圧縮荷重を分担する部材(一般に塗装面積は少ない)の塗膜劣化を重要な変状として捕らえ、重み付けは、目視による変状面積で評価した結果を、部材の重要度を考慮した評価に換算するために、例えば、ガーダ構造(図2)で最も引張荷重を受ける下フランジの表面積は、ウェブプレート(腹板)の1/3以下であるが、腐食による影響の大きい下フランジを、ウェブプレートと同じ塗装面積の部材として扱うことで行うなどの考え方をとる。このような部位の区分は、鋼鉄道橋の詳細構造で異なり、ガーダ構造の場合には、上フランジ、ウェブプレート、下フランジの3部位、スルーガーダ構造の場合には、さらに縦桁、横桁を加えた5部位に分けられ、トラス構造の場合には、上弦材、斜材(垂直材)、下弦材、縦桁、横桁の5部位に分けられる。

塗膜劣化は、各部位の塗膜外観と見本写真(図3に評点3及び5の見本写真²⁾の例を、各評点の変状程度のイメージを表1に示す。)との比較で行う。評点付けでは、各評点の中間の評点、すなわち0.5点刻みで行う。対象と見本写真と比較して、いずれとも判定ができない場合は、その中間点を付けることになる。なお、本調査では、見本写真の画像処理で求めた塗膜変状面積率を参考に、各評点における塗膜変状面積率の範囲を表1のように定め、部位別の塗膜劣化評点に合わせて、目視での“さび”及び/又は“塗膜割れ・はがれ”の面積率での評価も行った。

構造物の劣化度(塗替え塗装の要否や塗装時期の判定

図2 鋼鉄道橋部位名称の一例(ガーダ構造主桁)

図3 塗膜劣化見本写真²⁾
見本写真を1m四方の塗膜劣化状況と見立てて、観察箇所の変化程度と比較し評価する。

表1 塗膜劣化評価

評点	塗膜変状程度のイメージ	変状面積率
5	素地調整で全面の鋼露出が必要な状況	12%以上
4	塗膜割れ・はがれ、さびが進んだ状況	1.3~12%
3	点さび、塗膜割れ・はがれが全面に点在	0.3~1.3%
2	局所的な点さび(塗膜割れ・はがれ)	0.03~0.3%
1	チョーキング等の塗膜表面のみの変状	0.01~0.03%
0	変状なし	0%

備考：評点付けは見本写真との対比で行う。評点1には、若干の傷さび発生程度を含む。表中の変状面積率は、見本写真から推定される“さび”、“塗膜割れ・はがれ”の面積率の範囲を示したもの。

表2 構造物の劣化度

合計点	劣化度	状 態
32~40	P I	塗装時期を逸し、鋼の腐食進行
24~31	P II	早急に塗り替えるべき状況
16~23	P III	適切な塗替え塗装時期
0~15	P IV	景観性などの必要に応じて塗装

の基準としている)は、部位別に重み付けされた塗膜劣化評点を求め、構造物の異なる構造物間の相対比較を可能にするため、合計点が40点満点となるように調整²⁾した塗膜劣化評点合計点を用いて評価する。合計の評価点から表2に示す構造物の劣化度として評価する。

本調査では、部位別の評価には塗膜劣化評価結果を用い、構造物全体の評価には構造物の劣化度評価に用いる合計点を用いた。

(2) 架設環境の調査方法

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。飛来塩分の発生源には、海塩、付近道路で散布される凍結防止塩、塩を含んだ地層などを通った漏水などが考えられる。この中で、海で発生した海塩粒子の飛来が最も多いケースと考えられる。海塩粒子は、その発生機構や粒径などで飛来挙動が異なることが知られている⁵⁾。微細な海塩粒子は、空高く遠距離まで到達し雲の起源などになり、粒子径の大きい海塩粒子は、重力落下の寄与が大きく、高さ・離岸距離とともにその濃度が著しく小さくなる。離岸距離の短い鋼鉄道橋の塗膜劣化や鋼腐食では、粒子径の大きい飛来海塩粒子の寄与が大きいと考えられる。粒子径の大きい海塩粒子は重力の影響で地表付近に多く分布し、離岸距離と共に濃度低下が著しいのみならず、移流方向の立ち木、建築物などに吸着することで容易に除去される。これらの障害物が鋼鉄道橋と海の間にあり、さらに塩分の濃度

表3 鋼造物関連の鋼材種、塗装下地となる素地などの変遷

時期	経過年数	主な鋼材種	素地・接合など
1883年以前	122年以上	錬鉄	黒皮鋼板のままりベット桁
1909年以前	96年以上	ベッセマー鋼	
1940年以前	65年以上	S39, SS39	
1940年以降	65年	SS41, SM41 (SS400, SM400)	リベット桁と溶接桁の混在時期
1950年頃	55年		ブラストの一部採用
1960年頃	45年		ブラスト・溶接桁
1970年以降	35年以下

図4 架設後35年以下の鋼鉄道橋の塗膜劣化
(図中の点線の範囲は、劣化度P IIと判定される範囲である)

低下が大きくなると考えられる。そこで、鋼鉄道橋の架設環境調査では、離岸距離を計測(地図上)するとともに、付近で腐食促進因子を発生する可能性のある工場、いおう温泉、腐敗臭のある河川などの有無といった一般的な観察項目に加えて、離岸距離が2km未満の場合には、鋼鉄道橋と海までの間に存在する障害物についての定性的評価も行った。

3.2 調査結果の整理方法

鋼鉄道橋は、製造年代で使用する鋼材種などが異なる。一般に、鋼材種や鋼材表面処理方法が異なる場合に、腐食挙動にも差異が生じると考えられている。また、塗装塗膜の劣化挙動に影響するとも考えられている。そこで、塗装下地となる鋼材種や鋼材表面状態などに関して、より詳細な区分(表3)を行い、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することとした。

なお、鋼鉄道橋の架設環境調査結果で、飛来海塩粒子以外に腐食促進要因が観察されなかったため、架設環境の区分は、離岸距離で整理することとした。この際に、鋼鉄道橋と海までの間の障害物の効果を考慮して、離岸距離2km未満で鋼鉄道橋の位置から海を見通せる場合、見通せない場合、及び離岸距離2km以上に区分した。

3.3 塗膜劣化調査結果

(1) 塗装後経過年数と塗膜劣化度の関係

図4には、架設後35年以下の調査結果を示す。対象橋梁は18連あり、そのうち8連(図中の○の2連を含む)は、新設時の塗膜で塗替え塗装は実施されていない。他の10連は塗替え塗装を1回実施している。図4の●は、離岸距離200mで、海を見通せる河川上にあり、架設後21年目に塗替え塗装された鋼鉄道橋である。この鋼鉄道橋は、塗替え塗装後3年で、図5に示すように、前回の腐食箇所と同一箇所からの腐食が発生し、塗膜劣化状態として高い評点となっている。その他の鋼鉄道橋

図5 前回腐食箇所からの早期腐食事例

日本海からの離岸距離約 200 m, 架設後 24 年, 塗替え塗装後 3.3 年, ボルト周り, 部材エッジ部など塗装前の腐食箇所と同一箇所からのさび

では, 15 年以上経過しても, 構造物の評点が塗替え塗装の計画が必要となる表 2 の劣化度 P-Ⅲ 以上 (合計点 16 点以上) のものが少なく, 概して, 塗膜劣化程度は低い状態に保たれている。

図 6 に示す架設後 36 年以上の鋼鉄道橋では, 1 回以上の塗替え塗装を経験している。離岸距離 2 km 以上の鋼鉄道橋 (図中の▲) は, 図 4 の離岸距離 2 km 以上の鋼鉄道橋と同等の傾向にある。一方, 離岸距離 2 km 未満の鋼鉄道橋 (図中の○及び●) は, その多くが塗装後経過年数の短い段階から塗膜劣化評点が高い。詳細に見ると, これらの鋼鉄道橋では, 図 5 の場合と同様に, 塗装前に腐食していた箇所と同一箇所からの腐食が早期に起きている。この傾向は, 海を見通せる鋼鉄道橋 (図中の●) に多く観察された。

図 7 に示す架設後 65 年以上の鋼鉄道橋では, 架設後 65 年未満の鋼鉄道橋とは異なる様相を呈した。特に, 離岸距離 2 km 以上において, 塗替え塗装後 10 年以上経過した鋼鉄道橋で塗膜劣化評点の高いものが多く観察された。すなわち, 架設後経過年数の少ない鋼鉄道橋に比較して, 塗替え塗装塗膜の耐久性が低いことを示す結果となった。塗膜変状観察結果を詳細に見ると, “さび” の評価ではなく “塗膜の割れ・はがれ” (図 8 に極端な塗膜割れ・はがれの例を示す) と評価され, 塗膜劣化評点が高くなるものが多く観察された。特に, 離岸距離 2 km 以上で “塗膜の割れ・はがれ” と評価された箇所は, 旧塗膜が厚く残存している箇所であった。過去の塗替え塗装で旧塗膜をはく離した箇所では, “塗膜の割れ・はがれ” は観察されていない。

図7 架設後 65 年以上の鋼鉄道橋の塗膜劣化 (図中の点線は, 図 4 と同じ)

れ”は観察されていない。

そこで, 目視観察した塗膜変状面積のうち, さび面積を除いた “塗膜割れ・はがれ” 面積率を用いて, 表 1 の評点区分で整理した。その結果を図 9 に示す。架設後 35 年以下の鋼鉄道橋では 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。変状面積率約 5%, すなわち劣化評点 4 となる塗膜はがれが 2 連で観察されている。そのうち 1 連は, 架設後 23 年 (塗替え塗装なし) で溶接箇所の塗膜はがれであった。他の 1 連は, 架設後 20 年 (塗替え塗装なし) で, 漏水箇所及び部材下面の塗膜層間からののはがれであった。いずれも塗膜性能の低下というより, 塗装時の溶接箇所の処理不足や漏水の影響によると解釈される。

架設後 36~64 年の鋼鉄道橋では, 観察部位の約 30%

図8 塗膜割れ・はがれの例

離岸距離約 6 km, 架設後 77 年, 塗替え塗装後 18 年の橋梁

図6 架設後 36~64 年の鋼鉄道橋の塗膜劣化 (図中の点線は, 図 4 と同じ)

図9 経過年数別の “塗膜割れ・はがれ” 程度 “さび” を除き, “塗膜割れ・はがれ” の面積率を元に, 表 1 の塗膜劣化評点で区分

図10 鋼鉄道橋の塗膜劣化（さび）
離岸距離 2 km 以上，“塗膜割れ，はがれ”面積率 1% 以下の調査結果

が評点 4 以上の“塗膜割れ・はがれ”に至り，架設後 65 年以上では 50%以上が“塗膜割れ・はがれ”のある評点 4 以上となっている．これらの鋼鉄道橋では，程度の差はあるが図 8 に例示した“からす足状割れ”や“鋼素地からの塗膜はがれ”が多く観られた．

次いで，離岸距離 2 km 以上の調査結果から“塗膜割れ・はがれ”の変状面積率 1%以下のデータのみを抜粋して整理した結果を図 10 に示す．離岸距離 2 km 以上の鋼鉄道橋では，塗装後の経過年数の増加に伴い構造物の評点も増加しているが，その増加程度は離岸距離 2 km 未満の鋼鉄道橋に比較して低く，“塗膜割れ・はがれ”に至っていない場合，すなわち“さび”と評価される塗膜劣化に至るまでは，長期間の耐久性（防食性）が得られることがわかる．

表 3 に示したように，1960 年以前は，鋼板表面の酸化皮膜（黒皮）を除去せず，脱脂程度の表面処理後に直接塗装されていた．1960 年からは，一部の鋼鉄道橋（東海道新幹線用）にブラスト処理鋼板が用いられるようになり，1970 年以後はブラスト処理鋼板が全面採用されている．また，鋼材種についても 1940 年以前とその後では異なっている．これらの違いが塗膜劣化に影響するとの仮定から，塗膜劣化状況の調査結果を鋼材種や鋼板表面処理方法の異なる年代で区分して整理した．この結果，“さび”と区分される塗膜変状に関しては，鋼材種，鋼材表面処理の違いより，離岸距離，すなわち海塩粒子の影響で腐食した箇所からの塗膜変状が塗膜劣化評点の支配因子になっていることが示された．

一方“塗膜割れ・はがれ”と区分される塗膜変状が，架設後経過年数の大きいもの，すなわち，黒皮鋼板をそのまま用いたベッセマー鋼や S39 鋼などの鋼鉄道橋で多く観察された．観察結果から単純に判断すると，鋼板の黒皮が塗膜付着性に影響していると思われる．しかしながら架設後経過年数の大きいものは，これまでに実施された塗替え塗装回数も多い．現行の塗替え塗装方法である“活膜を残しての塗装”では，塗替え塗装回数が増えるほど，残存塗膜厚みが厚くなる．この結果として，旧塗膜内の内部応力の増加（蓄積）に至り，塗膜界面からのはがれや塗膜割れを助長するとも考えられ，“塗膜割れ・はがれ”現象を明確にするためには，黒皮鋼板における塗膜付着性に加え，鋼表面に残存する塗膜の履歴な

図11 下面と側面の塗膜劣化評点比較
(架設後 36 年以上，離岸距離 2 km 未満)

図12 下面と側面の塗膜劣化評点比較
(架設後 36 年以上，離岸距離 2 km 以上)

どを踏まえた現象究明が必要である．

(2) 部材面別の塗膜劣化傾向の違い

これまでに，部材下面の塗膜変状，特にさび発生は側面や上面に比較して早いと経験的に言われていた．この実態を明らかにするため，塗替え塗装が実施されている鋼鉄道橋，すなわち架設後 36 年以上の鋼鉄道橋について，同一部材の塗膜劣化評点を部材下面と側面に分類し，それぞれの関係を離岸距離別で比較した．なお，“塗膜割れ・はがれ”の多い鋼鉄道橋の結果は除いてある．この結果を図 11, 12 に示す．図から離岸距離の区分によらず，多くの鋼鉄道橋では下面の塗膜劣化評点が側面の塗膜劣化評点より大きいこと，すなわち，これまで経験的に言われていた下面の塗膜劣化が側面より進むことを裏付ける結果が得られた．この原因は，一般に，濡れ時間の差や雨洗効果の有無の影響によると推測されているが，明確に説明できる状況には至っていない．

3.4 調査結果のまとめ

調査結果から，①離岸距離 2 km 未満と 2 km 以上では，塗膜変状の傾向が異なった．②離岸距離 2 km 未満では，塗替え塗装塗膜の“さび”による変状が早期に進む．その主な変状は，塗替え塗装前に腐食していた箇所と同一箇所の塗膜下腐食⁶⁾による“さび”であった．③離岸距離 2 km 未満であっても，鋼鉄道橋から海までの間に海塩粒子の飛来障害物が存在することで，塗膜の“さび”変状を抑制することが示された．これは，塗膜変状予測には塗膜面への塩付着の的確な評価が必要であることを

示唆する。④架設後経過年数の大きい鋼鉄道橋では、“さび”以外の塗膜変状として“塗膜割れ・はがれ”が顕著になる。塗膜の維持管理において、“塗膜割れ・はがれ”の発生機構究明と予測技術の確立が望まれる。⑤経験的に言われている構造物下面の塗膜変状が側面より早いことが確認された。この傾向は、構造物の離岸距離によらず認められた。

4. 鋼鉄道橋の防食対策

鉄道分野の塗装による防食対策は、「鋼構造物塗装設計施工指針」を技術根拠として実施されている。塗装以外の防食対策としては、耐候性鋼、溶融亜鉛めっき鋼などの耐食性金属材料の採用が行われてきた。最近では、ニッケルを多く含む高耐候性鋼やアルミ・亜鉛合金系溶融めっき、さらには溶射なども採用されつつある。

塗装による防食対策は、多数の異なる環境条件での長期間の使用実績があり、鋼鉄道橋への適用に関する経験的知見を多く有している。一方、耐食金属材料については実構造物に適用されてから間がなく、適用後の経過年数と共に新たな課題が見い出されている段階である。これらの材料について、使用者（構造物の維持管理者）の立場から最も重要な課題として挙げられるものには、例えば耐候性鋼製橋梁の直近に暴露した試験片と構造物の腐食状況が異なるなど、実構造物の実使用での腐食現象と試験片レベルでの室内促進腐食試験結果や屋外暴露試験結果との関係が明確になっていないことにある。使用実績の少ない耐食性金属材料については、今後の研究・開発、例えば実用との相関の高い腐食試験方法、異常腐食の検査・予測方法、長期耐久の期待できる補修対策方法などの研究が進むことを期待する。

塗装による防食対策の基本は防食性能の長期維持にあるが、鋼鉄道橋への適用の観点からは、防食性能以外に様々な制約が課せられる。次に主な制約の例を示す。

- ・屋外の現場で施工できること： その中でも鉄道の特殊事情として、き電停止（電車線の停電）による作業となる場合が多いことが挙げられる。すなわち、終電後から始発までの夜間に数時間の作業間合いでの作業が強いられることが多いため、このような施工実態に対応できる塗装方法・塗装材料に選択は限定される。
- ・構造物の検査に悪影響を与えないこと： 構造物は、省令に定められる「構造物維持管理標準」に従った2年を越えない範囲での定期検査が義務付けられている。その検査の多くは目視検査となっている。このため、各検査項目の視認性に影響する材料は使用困難と

なる。特に鋼鉄道橋では、腐食と疲労き裂が構造物の安全性を脅かす2大変状として捉えられており、き裂の目視による発見に悪影響を及ぼす材料特性、すなわち鋼にき裂が発生しても塗膜表面にその兆候が現れないような柔軟性のある材料などは使用困難となる。

- ・構造物の補修。補強工事に悪影響を与えないこと： 腐食による大きな部材欠損、疲労き裂、添接部のリベット・ボルトの緩みなどが発見された場合、又は輸送力増強のための補強が必要な場合などには、部材の切断作業、リベット・ボルトの交換作業、溶接作業などが実施される。これらの作業に悪影響を及ぼす材料、すなわち塗膜はく離作業に作業間合いで対応困難なほどの労力を要する材料、溶接作業のための前処理が困難な材料は使用し難いことになる。
- ・環境負荷を低減すること： 鋼鉄道橋の塗装による防食対策の技術的根拠となる「鋼構造物塗装設計施工指針」は、2005年5月に改訂された。この改訂では、環境問題に対する社会動向などを踏まえて、防食性能を維持しつつ塗料中に含まれる有害化学物質量の低減、特に鉛・クロム化合物の規制及び塗装作業で大気に排出されるVOC量削減などを目的の一つとしている。鋼鉄道橋の防食対策のみならず、化学物質を扱う分野では、環境負荷低減への社会的要請はますます増大するものと考えられる。

5. お わ り に

鋼鉄道橋の腐食と対策の現状と題し、鋼鉄道橋の概要、塗膜劣化事例及び鉄道での塗装による防食対策の一例を紹介した。これが、腐食防食対策に関心のある研究者・技術者の参考になることを期待する。

最後に、鋼鉄道橋の塗膜調査において、JRの施設関係者には多大なる協力を頂いた。ここに深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) A. Ichikawa, *Bridge and Foundation Engineering*, 28 [8] 17 (1994).
- 2) 「鋼構造物塗装設計施工指針」：(財)鉄道総合技術研究所 (2005).
- 3) M. Tanaka, T. Enari and T. Sakamoto, Proc. 52th Japan Conf. Materials and Environments, JSCE, p.443 (2005).
- 4) M. Tanaka, T. Enari T. Sakamoto, M. Kimura, H. Nakayama and I. Murata, *J-Rail*2005, p.181 (2006).
- 5) Y. Toba, *Umi-to-Sora*, 41 [3] 4 (1966).
- 6) M. Tanaka, *Bosei Kanri (Rust Pren. Control)*, 34 [11] 479 (1990).

(2006年8月23日受理)

要 旨

鋼鉄道橋の維持管理においては、防食仕様（塗装）の適切な適用が求められている。防食塗装の有効性や寿命の予測を適切に行うためには、実構造物における塗膜劣化要因・劣化パターンを明確にしておく必要がある。そこで、多くの実構造物を対象に、塗膜劣化状況の調査を実施した。その結果、塗膜劣化は、構造物の架設後経年や架設環境の違いを因子として、塗膜下腐食、塗膜割れ、塗膜はがれなどのパターンに分類できることが示された。

キーワード 鋼鉄道橋、塗膜劣化、腐食、防食対策