

『鋼道路橋防食便覧』発刊について

公益財団法人 東京都道路整備保全公社 道路アセットマネジメント推進室長

一般財団法人 首都高速道路技術センター 上席研究員

公益社団法人 日本道路協会 鋼橋小委員会 幹事 鋼橋塗装・防食 WG 長

高木 千太郎

1. 発刊の背景

社会基盤施設の高齢化は、国、都道府県、市区町村において喫緊な課題となっている。中でも道路橋については、平成 19 年 8 月に発生した米国ミネアポリスの橋梁崩落事故や国内の鋼トラス橋斜材破断事故を受け「道路橋の予防保全に向けた提言」が翌年には出され、高齢化による損傷の多発が指摘された。その後、住民の交通環境における安全・安心を確保するために国が設定した「橋梁長寿命化修繕計画策定事業」によって、地方自治体管理者の多くは道路橋の点検・診断を終え、自治体ごとに修繕計画が策定されている。今後は、先に示した個別の修繕計画を限られた予算のなかで着実に実施することが求められているのが現状である。このような状況下において、道路を管理する管理者等は、道路ストックの重要な部分を占める道路橋の安全性や使用性を確保し、寿命を延ばす対策を如何に効率的・効果的に行なうかを住民から求められている。道路橋には、大きく分けて 2 つに分類でき、その一つが鋼道路橋である。鋼道路橋に発生する主な損傷に腐食があり、腐食を防ぐために多種多様の防食法が採用され、今日に至っている。

このような状況を受け、日本道路協会・鋼橋小委員会・鋼橋塗装防食 WG は、計画的かつ効率的に鋼道路橋を新設、維持管理、補修・補強し、求められている種々な機能確保に役立つように、防食対策の基本的な考え方、対策工法、工法の選定方法、防食設計、施工、点検・診断、維持修繕などについて取りまとめた「鋼道路橋防食便覧」（以下、「便覧」という。）を発刊するに至ったので、その概要について紹介する。

なお、本便覧は、平成 2 年に発刊され今日まで使われてきた「鋼道路橋塗装便覧」、平成 17 年 2 月に道路橋の種々な防食技術を取りまとめて発刊された「鋼道路橋塗装・防食便覧」を統合し、平成 22 年 9 月に「鋼道路橋塗装・防食便覧」を補足する資料として発刊した「鋼道路橋塗装・防食便覧資料集」と一体として機能する防食技術書として発刊するものである。

2. 便覧の構成

本便覧は、第 I 編の共通編、第 II 編の塗装編、第 III 編の溶融亜鉛めっき編、第 V 編の金属溶射編の 5 編で構成されている。第 I 編の共通編では、鋼材の代表的な損傷である腐食の分類と形態、腐食環境等を解説し、II 編以降に示す具体的な各種の防食法に関して概要と共通する事項を示している。さらに、形式選定段階、構造設計段階及び施工段階での防食設計、防食性能の保持に影響する施工管理、各種防食法の経年による劣化対策で必要となる維持管理について示している。第 II 編の塗装編では、鋼材の防食法として長い歴史と実績のある塗膜による防食対策について解説している。具体的な内容は、防食設計として塗料の機能、塗

膜劣化、塗料の組み合わせ、新設塗装の仕様、色彩設計などである。次に、橋梁構造設計上の留意点、製作・施工上の留意点、新設塗装、塗膜の点検・診断や腐食に進行する不良環境の処置など維持管理、塗替え塗装について解説している。第Ⅲ編の耐候性鋼材編では、鋼材を塗装等の皮膜で覆うことなしに使用可で、断面欠損となる湿食さび発生の抑制を鋼材自体で達成することを目的として開発された耐候性鋼材の概要を紹介している。防食設計としては、耐候性鋼材の選定、重要な適用環境、防食仕様、景観への配慮事項を示し、構造設計上の留意事項として、細部構造の形状等、製作・施工上の留意点、施工方法、さびの状態と維持補修などの維持管理までを解説している。第Ⅳ編の溶融亜鉛めっきは、鋼材の表面に亜鉛の酸化被膜を形成し保護被膜となり、傷が生じた場合も犠牲防食作用によって鋼の腐食を抑制するめっきの原理と特徴、めっき処理を行う場合の構造上の制限やその後の維持管理等を示している。第Ⅵ編の金属溶射は、防食原理はめっき処理と同様な緻密なさびの薄膜を溶射によって形成するが、使用材料として亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウム等の金属を使い、めっき処理と同様な機能を持たせる金属溶射の特徴、防食設計や構造設計上の留意点、製作・施工における留意点、特徴ある金属溶射施工、使用実績は少ないが現状で分かる維持管理までを解説している。以上が、本便覧の構成と概要である。

3. 各編の概要と見直しを行った内容

1) 第Ⅰ編 共通編

本便覧で示す防食法各編で共通する事項を取りまとめたのが共通編である。第一に、便覧の適用範囲は、道路橋の鋼製の上部構造と鋼製の橋脚構造としている。鋼道路橋の腐食損傷に関して、防食原理や耐久性などの性能が明らかで実績のある塗装など4つの防食対策を選定、具備すべき条件、防食原理、施工法や維持管理法等を個別に解説している。具体的には、防食法として、塗装、めっき、金属溶射など被覆による防食、鋼材を耐食性材料に変えた防食、環境改善による防食、電気防食を挙げ、使用実績のある4つの防食法について防食原理、劣化因子、防食材料、施工方法、構造及び施工上の制限、外観、維持管理、複合防食について表-1に示すように取りまとめ、防食法選定に機能するように対比を可能とした。鋼道路橋の防食法選定は、防食法の特徴を把握し、橋梁の周辺環境との調和、経済性、維持管理性などを考慮し正しく選定し、その後必要な防食設計の流れを示した。

さらに、各防食法の適用について、腐食環境に重要な因子である飛来塩分量による各防食法の機能発揮範囲をグラフで示し、これまで課題の多かった防食選定が容易に可能となるようにした。また、「鋼道路橋塗装・防食便覧」発刊以降に発生した重大損傷、例えば、鋼斜材や鋼桁端部の著しい腐食(写真-1, 2参照)や鋼製橋脚基部の損傷等の状況を示すとともに、止水対策、維持管理上必要な検査路(写真-3参照)、箱桁に設置するマンホール等に関する配慮すべき必要な事項についても示すことで同様な損傷が起こらないようにした。供用している道路橋に行なう防食機能の改善対策において、本便覧で示す防食法を採用しても再度早期腐食損傷の発生につながる影響が最も大きいのが素地調整である。素地調整時に重要なことは、付着している塩分等除去が腐食進行の大きな要因であることを示したうえで、これまでの動力工具による方法から、周辺装置は大掛かりとなるものの不良箇所の除去が可能なブラスト法の採用を推奨し、適用にあたっての留意事項等についても新たに記述した。付属資料では、近年採用が増加している電気防食法についても外部電源方式

と流電陽極方式食の電気防食原理を解説することで電気防食法を理解し、適用等に誤りがないように示した。また、近年求められている地球環境の保全や防食対策実施時の環境対策として、これまで用いられてきた防食材料には鉛化合物、六価クロム化合物及び PCB などの有害物質を含むものがあることを明確にし、環境汚染や人的影響等が起これないように使用や処理方法に十分留意することとした。以上が、共通編の概要である。

表-1 鋼道路橋の防食法

防食法	塗 装		耐候性鋼材	溶融亜鉛めっき	金属溶射
	一般塗装	重防食塗装			
防食原理	塗膜による環境遮断	塗膜による環境遮断とジंकリッチペイントによる防食	緻密なさび層による腐食速度の低下	亜鉛皮膜による環境遮断と亜鉛による防食	溶射皮膜による環境遮断と亜鉛による防食
劣化因子	紫外線, 塩分, 水分 (湿潤状態の継続)	紫外線, 塩分, 水分 (湿潤状態の継続)	塩分, 水分 (湿潤状態の継続)	塩分, 水分 (湿潤状態の継続)	塩分, 水分 (湿潤状態の継続)
防食材料	塗料	塗料	普通鋼材に合金元素の添加	亜鉛	亜鉛, アルミニウム, 亜鉛・アルミニウム
施工方法	スプレーやはけ, ローラーによる塗付	スプレーやはけ, ローラーによる塗付	製鋼時に合金元素を添加	めっき処理槽への浸漬	溶射ガンによる溶射
構造、施工上の制限 (原則)	湿度、温度等施工環境の制限	湿度、温度等施工環境の制限	滞水、湿気対策	めっき処理槽による寸法制限と熱ひずみ対策	溶射ガンの運行上の制限
外観 (色彩)	色彩は自由	色彩は自由	色彩は限定 (茶褐色)	色彩は限定 (灰白色)	色彩は限定 (梨地状の銀白色)
維持管理	さびの発生や塗膜の消耗, 変退色の調査。塗膜劣化が進行した場合は、塗替え。	さびの発生や塗膜の消耗, 変退色の調査。塗膜劣化が進行した場合は塗替え。	異常なさびが形成されていないことの確認。腐食が進行した場合は、塗装等による防食。	亜鉛層の追跡調査。亜鉛層の消耗後は塗装等による防食。	亜鉛, アルミニウム等の皮膜の追跡調査。溶射皮膜の消耗後は金属溶射もしくは塗装による防食。
複合防食	—	—	—	塗装との併用	塗装との併用



写真-1 鋼斜材が床版に貫通する部位の腐食



写真-2 鋼桁端部の著しい腐食事例



写真-3 下部構造検査路設置事例

2) 第Ⅱ編 塗装編

塗装編は、平成 2 年に改訂した「鋼道路橋塗装便覧」と平成 17 年に策定した「鋼道路橋塗装・防食便覧」を統合し、24 年間未改訂で塗装による防食の技術書であった「鋼道路橋塗装便覧」を参考にすることなく本便覧のみで塗装による防食対策の設計、維持管理、補修、塗替え塗装が可能ないように取りまとめている。本便覧は、先に示す 2 つの便覧で示した流れは基本的に変更していないが、防食設計として塗装仕様の選定、塗装仕様から要求される構造設計、選定した塗装仕様の再評価を行い、塗装仕様を決定することとしている。また、環境に優しい塗料として水性塗料、弱溶剤型塗料、低溶剤型塗料、無溶剤型塗料があるが塗料の紹介に留め、実績等を考慮して塗替え時の弱溶剤型塗料の組み合わせについて新たに示している。新設の塗装系は、従来から推奨している優れた防食機能と美観・景観性を長期的に保つための塗装系として C-5 塗装系の適用を原則とするのは同様である。また、新設の塗装は、良好な塗膜形成において必要な工場塗装を上塗りまで行うことを基本としているが、良好な環境での採用ができる A-5 塗装系の特徴を踏まえ、中塗り・上塗りの現場塗装についても示すことで塗装系による施工の違い

を理解できるように配慮した。塗装系の選定については、平成 2 年の「鋼道路橋塗装便覧」においては、腐食環境分類での区分けと適用する合成樹脂塗料からふっ素樹脂塗料までの種々な塗装系を示し、平成 17 年の「鋼道路橋塗装・防食便覧」では、上塗りをふっ素樹脂系塗料とする重防食塗装系の選定を原則とするなど 2 つの便覧において塗装系の選定に差異が生じていたが、本便覧では、一般外面の塗装仕様は耐久性に優れた C-5 塗装系、良好な環境においては A-5 塗装系、内面用塗装仕様の D-5 及び D-6 塗装系の適用を原則すること塗装仕様選定時に誤りがないように整理した。本便覧で示している各塗装系については、素地調整程度、プライマーから上塗りまでの塗料使用量、目標膜厚、塗装間隔等について示した。次に、耐候性鋼材やめっきなど塗装以外の防食法を採用し、当初想定していた防食性能が確保できなくなった場合の塗装仕様や留意事項について示し、近年実績が多くなってきた中性化や塩害防止等を目的にコンクリート面へ実施される塗装仕様や留意事項についても、新たな知見や実績を基に解説した。また、これまで新設の塗装仕様を適用し、架設後にさび等の損傷が発生することが多い現場継ぎ手部や現場溶接部の塗装についても、素地調整の方法を動力工具処理からブラスト処理の適用を推奨することで、長期耐久性の保持と美観上における配慮を行なった。塗膜の品質管理上重要な要素である素地調整の基本としては、ブラスト処理推奨の変更は無いが、研削材として金属系と非金属系があること、仕上がり面の表面粗さ、ブラスト処理後に発生する欠陥であるターニング現象の防止方法についても示すことで、良好な塗膜形成となるようにした。塗装時に必要な塗料の使用量と施工管理法として、従来から行っている塗膜厚の管理に加え、塗料缶（容器）の確認方法を具体的に示し、塗料使用量の現場管理が容易に行えるようにした。次に、供用開始後に発生する塗膜の変状について、塗膜点検の基本、点検の方法や着目点を新たに示すだけでなく、従来から使われている塗装系の損傷・劣化に加え、重防食塗装系に発生する光沢低下や白亜化などの変状写真や変状の詳細を示し、損傷・劣化程度の判断が誤りなく行えるようにしている。塗替え方式については、従来から示している全面塗替え、部分塗替え、局部補修は同様であるが、塗替え塗装系選定の手順を新たに示し、塗替え時の判断が容易となるように配慮した。

（図-1 参照）また、塗替え時に適用する塗装仕様は、Rc-1 塗装系旧塗膜に含有する鉛や PCB などの有害物質処理の必要性を明らかにするとともに、有害物質処理が行いやすい塗膜剥離剤とブラスト工法の併用することで環境保全への寄与と良好な施工が行えるようにした。現場で行う塗替え塗装作業については、均一な塗膜形成を目標としてスプレー塗装を一般的としたが、ボルト継ぎ手部、狭あいな部分、スプレー塗装による施工が困難な箇所等の塗装作業には、スプレーでは限界があることから、それを補う工法として、はけ塗りやローラ塗りが有効であるとした。

付属資料には、コンクリート面への塗装仕様、環境に優しい塗料系、中塗り・上塗り兼用塗料の記述を近年得られたデータ等から示すとともに、本州四国連絡橋で採用している耐候性に優れた高耐久性ふっ素塗料のほか、環境対応形塗膜剥離剤、環境対応の現場塗膜除去技術としてクローズド超高压水洗塗膜剥離システム、ブラスト面形成動力工具及びエアアシスト方式静電スプレー塗装についても解説することで、新たな材料や技術を採用できるように配慮した。以上が、塗装編の概要である。

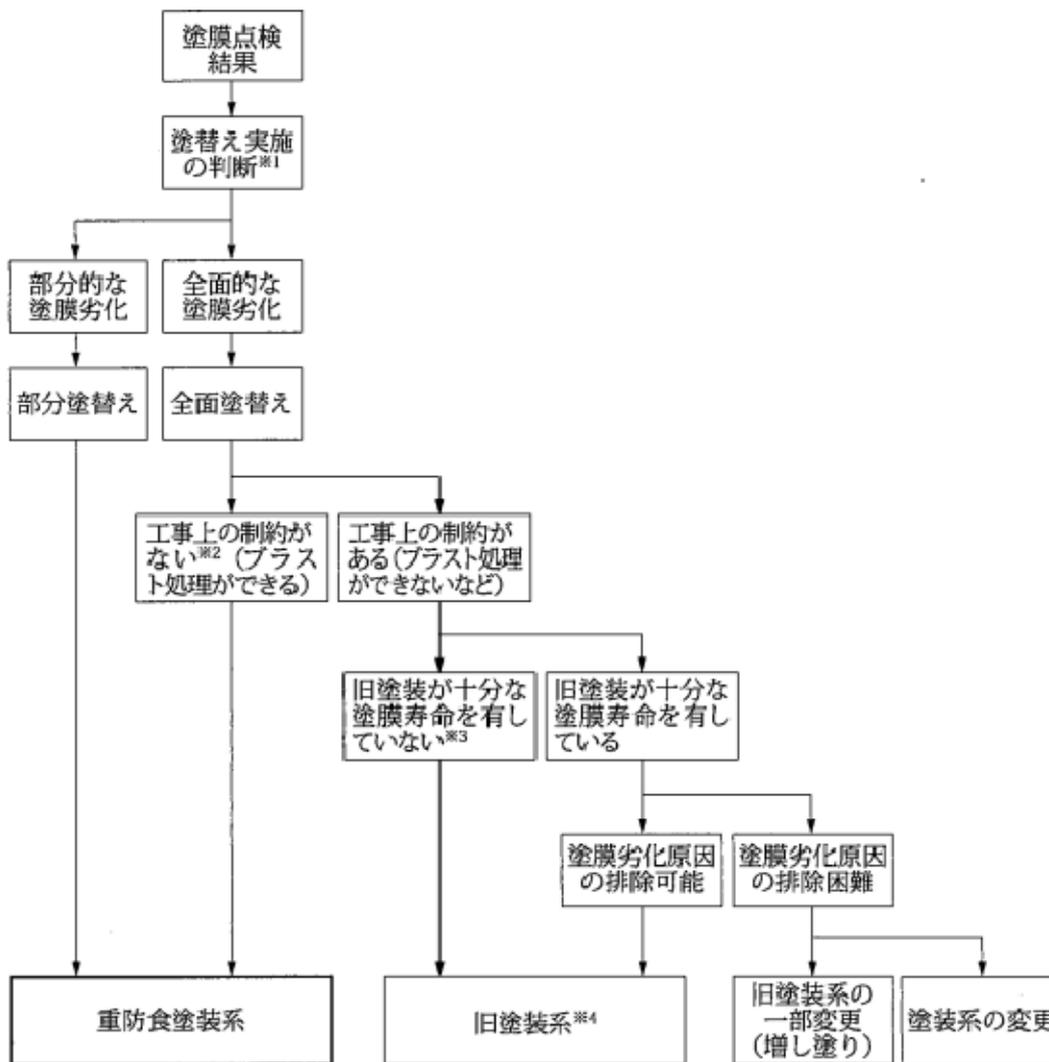


図-1 塗り替え塗装系選定の手順

3) 第三編 耐候性鋼材編

耐候性鋼材は、普通鋼材に合金元素を加えることで普通鋼材に比較してさびの進展が抑制されることを目的に開発された鋼材である。このようなことから、塗装やめっきのように鋼材を被覆することで腐食を抑制する防食原理ではなく耐候性鋼材特有な緻密なさび形成が重要である。ところが、これまで使われてきた耐候性鋼橋の中には、期待している緻密なさびが形成されず、顕著な不良さびによって大きく断面欠損している事例も多く報告されている。そこで、緻密なさびの外観、想定していたさび形成ではない層状はくりさびの事例写真を含めて損傷内容を示すことで、耐久性を保つために必要な診断。対策時期の判定に当便覧が機能するように配慮している。耐候性鋼材の防食原理として重要な緻密なさびが形成されない場合、飛来塩分の多い個所や凍結防止剤散布地域に生じる層状剥離さびについて、原因を示し、耐候性鋼材の使用限界についても解説した。耐候性鋼材の適用地域は、先に示すように飛来塩分量が大きなカギを握ることとなるが、特に無塗装で使用することが可能な地域を数値 (NaCl : mg/100 cm²/day) と地域図で示すことによって耐候性

鋼材を誤りなく適用するようにした。また、従来の耐候性鋼材と比較して、飛来塩分の多い地域でも緻密なさび形成が期待できるとして開発されたニッケル系耐候性鋼材、緻密なさび形成の初期段階で発生するさび汁やさびむらを解消する目的で開発された耐候性鋼材用表面処理剤についても、適用を誤る事例も報告されていることから、使用上の留意事項等を示すことで適用を誤らないように注意を喚起した。さらに、耐候性鋼材を適用する場合の注意事項として、桁端部、箱桁内面、鉄筋コンクリート床版箱桁上フランジ面、局部的に環境の悪い部位、鋼床版上面等の留意事項に加え、摩擦接合面の処理方法についても示した。また、これまで国内で採用された耐候性鋼材橋梁において、緻密なさびが形成されずに層状剥離さび発生が桁端部に多かった事例から、桁端部に必要な塗装処理方法についても下部構造天端上の塗装範囲等で詳細に示した。(図-2 参照) これまで国内の耐候性鋼材橋梁は、供用後に緻密なさびが形成されない場合も多々あることから、耐候性鋼橋の損傷程度の判定に必要な点検・診断について示すとともに、既に発生している層状剥離さびを完全に除去し補修する場合、素地調整が動力工具では不良さび除去が困難なこと、ブラスト処理でも他の防食法と比較して3~4倍処理時間を要することなど、さび除去に関する留意点を示した。以上が、耐候性鋼材編の概要である。

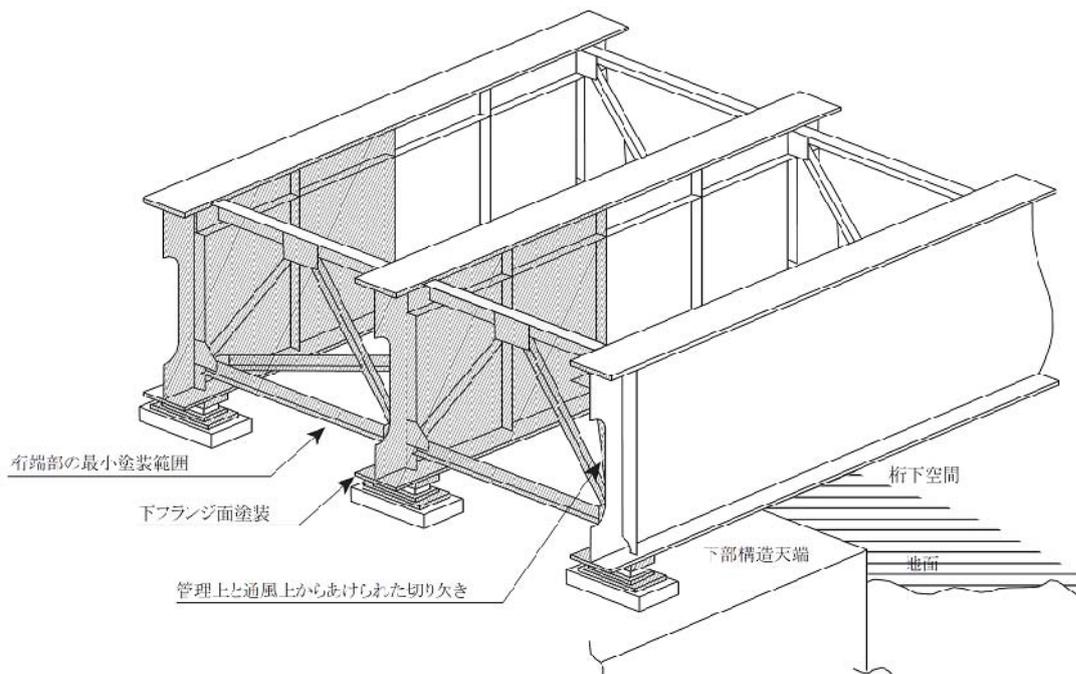


図-2 下部構造上の塗装範囲

4) 第IV編 溶融亜鉛めっき編

溶融亜鉛めっきは、1980年代以降国内の道路橋に多く適用されたが、近年は、適用する際の構造条件やめっき浴槽等の制限から道路附属物に適用が移り変わっている。このように橋梁の主部材から附属物へ適用が変わったこともあって、本便覧に示している溶融亜鉛めっきに関する種々な事項はこれまでの便覧で示した内容との大きな差異は無い。ただし、溶融亜鉛めっきを道路附属物や検査路等に行なう場合、使用する鋼材の板厚が橋梁部材よりも薄い場合が多く、めっき付着量や維持管理法も異なるので、附属物への適用における

留意事項として、具体的な事例として重ね合わせ部材の溶接からボルト接合への変更などを新たに示した。また、溶融亜鉛めっきを適用した道路橋における点検、診断については、損傷が発生した場合の補修方法について実施した事例を参考に紹介することで、耐久性の向上と損傷が発生した場合の処理を正しく行えるよう配慮した。以上が、溶融亜鉛めっき編の概要である。

5) 第V編 金属溶射編

金属溶射は、これまでにあげた鋼道路橋に関する防食法と比べて新しい防食法である。このようなことから、金属溶射を適用した橋梁の供用年次が新しく事例も多くはないので、施工方法や施工限界、損傷事例等から得られる知見や留意事項も限られている。本便覧においては、限られた情報の中から必要な要素を区分し、金属溶射を適用する場合に必要な事項について一定の方向性を示している。防食の考え方は、溶融亜鉛めっきと同様に電気化学的防食作用である。金属溶射に用いる金属は、従来の亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウム等に加え、近年、アルミニウム・マグネシウム合金による金属溶射適用事例が増加しつつあることから、本工法の他の金属溶射と比べた優位性等の特徴を示している。金属溶射を適用する場合、これまで記述の無かった飛来塩分地域や凍結防止剤散布地域における適用限界と他の防食法との併用について示すことで、適用の誤りを無くし、長期防せい機能の確保が可能となるように配慮した。また、金属溶射は、溶射ガンを使つての施工となることから、狭あいな空間での施工方法、施工限界、溶射困難箇所に関する留意点を示し、適用にあたって誤りがないよう、一定の品質確保ができるように配慮した。さらに、金属溶射特有の溶射金属の付着を良くする粗面形成処理、溶射ガンを使った溶射方法、封孔処理、溶射困難箇所等についても解説している。金属溶射適用橋梁の維持管理は、先に示したように他の防食法と比較して適用事例も少ないことから、維持管理の流れを示し、点検時の評価と対策方法について示すことで早期に損傷を把握し、必要な対策方法の選定を適切に行うことによって長期耐久性の確保が行えるように配慮した。以上が、金属溶射編の概要である。

3. 道路の老朽化対策の本格実施と鋼道路橋の望ましい防食法の確立に向けて

全国の供用している道路橋は、約 70 万橋あり、地方自治体の管理する橋梁では、最近 5 年で通行規制を行なっている橋梁が 977 橋から 2,104 橋と 2.2 倍となっている。一方、地方自治体の保全業務に携わっている専門技術者は、全国の町の 50%、村の 70% が全くいない状況にある。このような厳しい現状を踏まえ国は、平成 25 年を「メンテナンス元年」と位置づけ、本格的にメンテナンスサイクルを回すための取り組みに着手した。具体的には、点検基準の法制度化やインフラ長寿命化基本計画の策定などである。これらを着実に進めることによって、国内の道路においてはメンテナンスサイクルを確定し、サイクルを回す仕組みをしっかりと構築できるとしている。ここで重要なことは、道路管理者の義務を明確化し、既存道路ストックの点検、健全度診断、措置、記録のメンテナンスサイクルの確定を各道路管理者の責任で実施することである。それには、正しく実施する体制づくりや専門技術者の育成・継承、メンテナンスサイクル実施に必要な予算の確保が必要不可欠である。少子高齢化社会の到来で減少する税収や保健医療に多額の経費が必要となる将来に向けて、一日も早く社会

基盤施設の高齢化対策取り組む必要性を多くの国民が理解し、老朽化対策に賛同を得ることである。鋼道路橋においても、桁端部の著しい腐食や斜材の破断等老朽化による変状が顕在化する現状を踏まえ、新設、既設橋の維持管理、架替えの各段階で将来に機能する適切で望ましい防食法を確立させ、ライフサイクルコストの低減を図ることが必要である。それには、新設橋梁で採用した防食法の施工データ、既設道路橋の点検・診断で得られた多くのデータを種々なデータ分析法によって分析し、今後の防食法の選定、点検・診断、補修・補強などに生かし、誤った防食法適用による致命的な損傷や通行規制とならないようにすべきである。それとともに、道路管理者の把握する多くのビッグデータを国民に公開する「道路管理者保有データの見える化」を行い、住民とともに協働で望ましい交通環境づくりを行なうことが課題解決において重要である。