

合理的な鋼道路橋塗替塗装計画の立案

田口 仁・中野正則・安波博道・五島孝行・中島和俊

1. はじめに

最近道路構造物の保全が最重要課題の一つであるが、このうち道路橋では長寿命化修繕計画の策定、実施が進められている。道路橋のうち、鋼橋については、損傷の大半が腐食や防食機能の劣化であり、長寿命化修繕計画ではその補修として塗替（再塗装）に多くの費用が必要とされている。

鋼橋の塗替方法としては、従来は全体を同一の塗装仕様で塗り替える方法が一般的であったが、最近、桁端部など塗膜劣化や腐食の進行が顕著な部位のみを塗り替える「部分塗替」や劣化損傷の程度に応じて塗装仕様を変える「塗分け」などの合理的な方法が実施されつつある。

土木研究センターでは、これまで数多くの部分塗替などの試験施工の実施支援を行ってきており、

その過程で塗装の素地調整の品質管理や塗装診断等の実績を上げている。

本稿では、このような実績と知見を基にして、部分塗替や塗分けなどの合理的な塗替方法を主体とした鋼橋の塗替塗装計画の立案および塗装診断を行った事例を報告する。

2. 塗替塗装計画の立案

2.1 計画の対象

今回の計画立案を行う福岡国道事務所は福岡県の西部、南部の直轄国道を管理しており、管内の鋼橋は150橋（うち耐候性鋼橋梁は8橋。以下同じ）あり、内訳は一般橋71橋（7橋）、橋側歩道橋25橋（1橋）、横断歩道橋54橋（0橋）で、これらの橋梁について塗替塗装計画の立案を行った。

2.2 個別橋梁の塗替塗装計画

塗装計画基礎資料表											
橋梁名	水城高架橋(下り)			路線名	一般国道3号 現道		整理番号	5904			
所在地(自)	福岡県太宰府市水城2丁目			距離標(自)	百米標07.6km + 距離0m		調整年月日				
(至)	福岡県太宰府市水城1丁目			(至)	百米標07.8km + 距離20m		作成年月日	2014.2.28			
基本データ				橋梁(点検)写真(第7区間)							
橋梁区分	本線橋			橋梁種別	高架橋			1: 全体外觀	2: 桁下面	3: 中間部 主桁;防食d	4: 中間部 封鎖構;防食d
分界区分	下り線			交差状況	道路			5: 桁端部 主桁;腐食 d	6: 桁端部 支承;腐食 d	7: 桁端部 支承;防食 d	8: 桁端部 藩防;防食 d
橋長(m)	215.70			総径間数	11						
うち鋼橋区間	44.78			うち鋼橋区間	1						
有効幅員(m)	8.00			橋面積(m ²)	358						
完成年度	1983年			3月供用	上り 1983年供用						
橋の等級	1等橋			通用示方書	S55年						
建設止積算額(円)	散布しない			橋梁地区/距離	D/13.0 km						
上部工諸元				塗装履歴							
径間番号	橋長(m)	桁形式区分	構造形式	塗装面積(m ²)							
1~3	49.84	3径間連続	RC中空床版橋	1,531							
4~6	49.86	3径間連続	RC中空床版橋								
7	44.78	1径間単純	湾接合鋼桁								
8~11	71.12	4径間連続	RC中空床版橋								
径間番号	塗装年月	下塗塗装	中塗塗装	上塗塗装	塗装面積(m ²)	塗装色					
7	1988年1月	シアナミドヘルゴン	CR-901(長油性)フタル酸樹脂塗料	CR-901(水長油性)フタル酸樹脂塗料	1,537	黄緑					
◎点検結果(代表径間の塗装関連項目)											
径間番号	位置	防食機能の劣化	劣化の種類	備考(写真番号等)	腐食	部位	備考(写真番号等)	塗装仕様	概算塗装面積(m ²)	概算費用(千円)	塗替時期
7	中間部	d	点錆、はがれ(傷)	3,4	d	主桁、支承	5~7	Rc-III	137	2,471	5年以内
コメント	桁端部	d	点錆	8	点錆があり、小さな傷によるはがれがある。桁端部ではわずかに腐食がある。						
コメント	中間部				桁端部をRc-Iのみの部分塗替えがよい。中間部は経過観察。						
コメント	桁端部										
コメント	中間部										
コメント	桁端部										
全体										3百万円	5年以内

図-1 個別橋梁の塗替計画表の例

前述の150橋のうち、橋梁定期点検調書のある橋梁について、図-1に示す計画表を作成した。

この計画表では、橋梁諸元、塗替記録等のデータは橋梁台帳や橋梁定期点検調書を基に整理している（青点線の部分）。また、橋梁写真、点検結果は橋梁定期点検調書の記録のうち最も損傷劣化の大きな径間について整理した（緑点線の部分）。これらのデータを基に損傷劣化の程度、経年数、塗装履歴、環境条件等を考慮して、当該橋梁の塗替について、塗替塗装の仕様・範囲、概算費用及び塗替時期を判断し、塗替塗装計画の案とした（赤点線の部分）。

なお、橋梁写真、点検結果や塗替塗装の仕様・範囲については、桁端部とそれ以外の中間部に区分して整理し、判断した。塗替の範囲については、桁端部については桁端から一定の範囲とし、その範囲に応じて塗装単価を乗じて概算費用を算出した。塗替時期は、損傷劣化の程度等前述の項目から判断し、1年以内、3年以内（2～3年、以下同じ）、5年以内、10年以内、11年以降とした。

図-1は一般橋、橋側歩道橋の計画表であるが、横断歩道橋については、定期点検チェックシート台帳を基に別途同様の様式で計画表を作成した。

なお、これらの計画表の塗替塗装計画の案の検討においては、3で示す橋梁診断の結果とそこで得られた知見を採り入れている。

2.3 全体の塗替塗装計画

2.2の個別橋梁の塗替塗装計画を集計し、事務所全体の塗替塗装計画を立案した。なお、最近建設された橋梁等で橋梁定期点検調書のないものについても、橋梁諸元や塗装面積等から推定して、できる限り全体の塗替塗装計画の中に盛り込んだ。

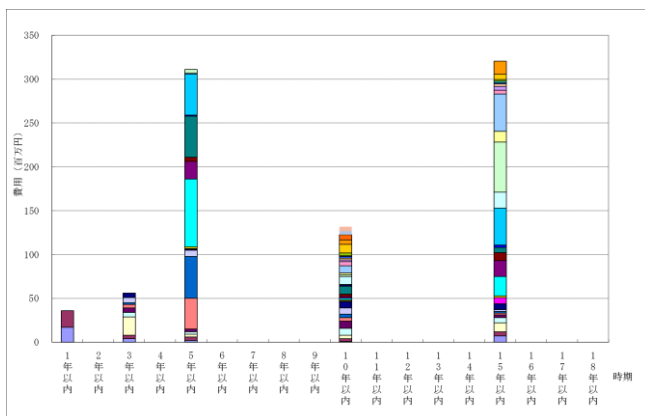


図-2 全体の塗替塗装計画（集計後の素案）

(1)一般橋、橋側歩道橋

一般橋、橋側歩道橋について、2.2の個別橋梁の塗替塗装計画を単純に集計した結果を図-2に示す。図中の棒グラフの色分けは橋梁毎の費用を示しており、5年以内までと15年以内が多いことがわかる。なお、ここでは2.2で示した塗替時期の11年以降の橋梁を15年以内として整理し、全体として今後15年間の計画を立案した。

図-2に対し、各年度の塗替費用の平準化を前提として、優先順位をつけて整理し直した計画を図-3に示す。優先順位の付け方としては同じ年次の橋梁に対しては、「前回塗装年次の古いもの」、「塗替費用の小さいもの」という条件の順に再整理している。また、最初の5年間は集中整備期間として平準化する一方、それ以降の10年間に於いて別途平準化している。

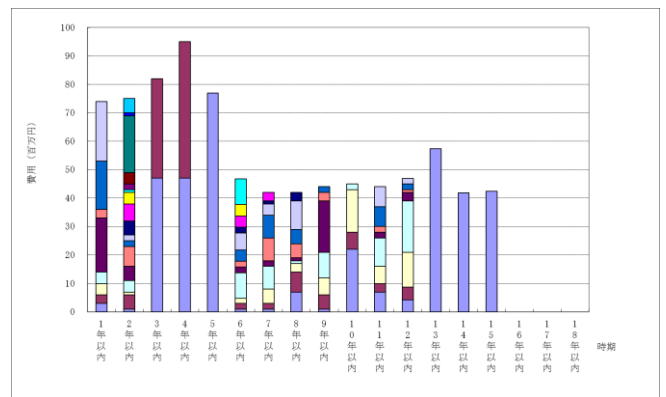


図-3 全体の塗替塗装計画（最終案）

その結果、図-3の最終計画案では最初の5年間は毎年約80百万円、それ以降は毎年約40百万円の計画であり、前述の予算の平準化に伴い図-2に比べて前倒しの計画となっている。なお、年度によっては実施橋数が多くなったり、逆に年間1橋の場合があるなど、実施橋数に大きな変動があることに留意する必要がある、実際の工事発注を行う場合は、年度によっては多くの橋梁をまとめて

表-1 全体塗替塗装計画（最終案）の内訳

塗装仕様	橋数 N	塗替費用 C (百万円)
全面Rc-Ⅲ	12	17
当面不要 (全面Rc-Ⅲ)	3	5
全面Rc-Ⅰ	2	96
桁端部等のみRc-Ⅰ	33	149
当面不要 (桁端部等のみRc-Ⅰ)	34	353
桁端部等Rc-Ⅰ 十その他Rc-Ⅲ	7	235
計	91	855

一括発注したり、逆に橋数が少ない場合は分割発注を行うなどの工夫が必要であると考えられる。

今回提案した計画案について塗装仕様別に整理した結果を表-1に示す。

土研センター

表-2 計画（最終案）と他の塗装仕様との比較

	計画(最終案)	全橋全面Rc-I 塗装系の場合(A)	全橋全面Rc-III 塗装系の場合(B)
総塗替費用 (百万円)	855	4,357	2,324
比率	1.000	5.096	2.718

表-1より計画全体の塗装費用は対象橋梁91橋に対し855百万円であり、「桁端部等のみRc-I」の部分塗替の橋数が多い。ここで「当面不要」は建設直後の橋などで塗替えが直ぐには必要ないものである。また、「桁端部等Rc-I+その他Rc-III」の塗分けの場合の塗替費用が大きい、これはトラス橋など規模の大きな橋を含んでいるためである。一方、全面Rc-IIIが橋数では比較的多くなっているが、これは規模が小さく狭隘なためにブラスト施工（Rc-I塗装系）が困難と判断された橋側歩道橋が多く含まれているためである。

表-1では、桁端部のみRc-Iでの部分塗替などが主体となった経済的な計画案となっているが、これと鋼道路橋防食便覧（平成26年、日本道路協会）で基本とされているRc-Iにより全面塗替を全ての対象橋梁に対して適用した場合、及び従来から行われていた「全面Rc-IIIでの塗替」を全ての対象橋梁に対して適用したとした場合との比較を記入したものを表-2に示す。表-2より、今回提案した計画案の総予算が855百万円であるのに対し、全橋「全面Rc-Iでの塗替」の場合（表-2(A)）は4,357百万円、全橋「全面Rc-IIIでの塗替」の場合（表-2(B)）は2,324百万円であり、今回の計画案はそれぞれの場合に対し、(A)では約1/5、(B)では約1/3と塗替費用が大幅に削減されていることがわかる。

(2)横断歩道橋

横断歩道橋についても、(1)一般橋、橋側歩道橋の場合と同様の考え方で事務所全体の塗替塗装計画を立案した。

ただし、横断歩道橋の劣化損傷に関しては、文献²⁾において、「横断歩道橋の損傷部位は、桁の階段部および通路部に多く、腐食が原因である。(略)腐食は連結部や橋脚にも多く、(略)」とある(図-4参照)。また、今回の調査で蹴上げ部、連結部、通路地覆の損傷の割合が大きく、特に写真-1に示すように蹴上げ部が他の部材や部位に比べて汚れ、錆汁や腐食が目立つことが確認できた。このため、今回の計画立案では、蹴上げ部と残り

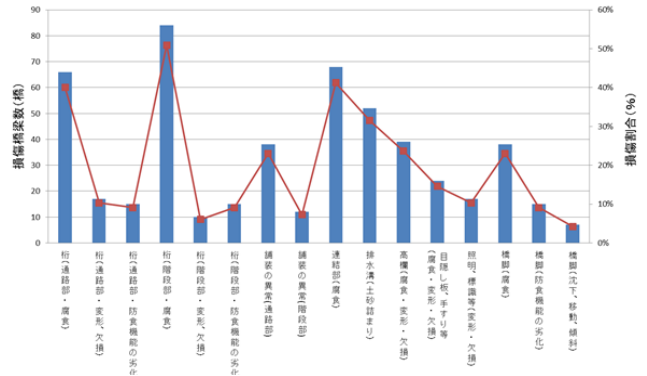


図-4 横断歩道橋の重点点検項目別損傷割合



写真-1 全体と蹴上げ部の損傷事例(同じ橋)

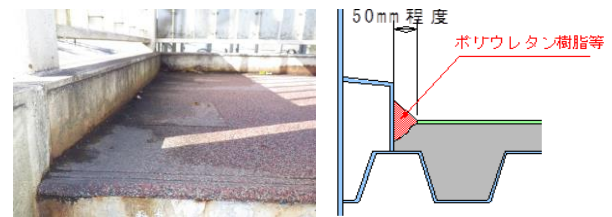


図-5 通路の地覆地際の補修方法の提案

の部分に分けて検討を行い、全体の塗替塗装を重視するケース（全体塗替ケース）と美観的に問題の多い蹴上げ部のみ塗替塗装を行うケース（部分塗替ケース）について計画立案するとともに、蹴上げ部、連結部、通路地覆の損傷を局部的に補修することで美観が確保されるものと考え、この3つ部分の局部補修の検討を行い、例えば図-5に示すような補修方法を提案し、塗替塗装計画に盛り込むこととした。

紙面の都合上、横断歩道橋全体の塗替塗装計画の検討過程は省略するが、前述の全体塗替ケース及び部分塗替ケースの最終計画案を図-6及び図-7に示す。

図-6の全体塗替ケースでは、最近、福岡国道事務所では横断歩道橋の塗替塗装工事を集中的に実施しているため、直ぐに塗替を実施すべき橋梁は少なく、5年以降に実施する橋梁が多くなったが、5年以降については塗替予算が年間50百万円前後と平準化されている。一方、図-7の部分塗替ケースでは、蹴上げ部に美観上の問題がある橋梁が多いことから前倒しの計画となり、9年間にわたり

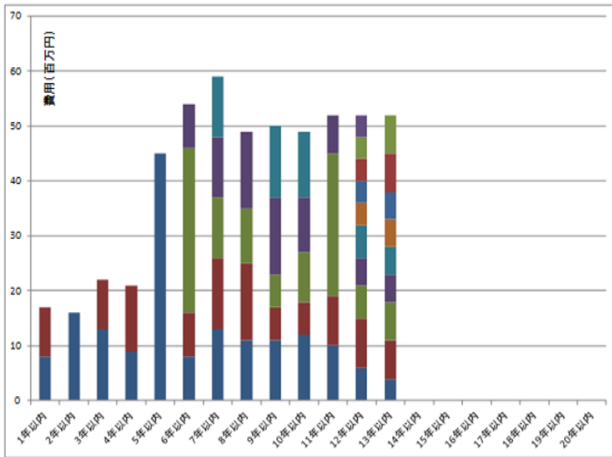


図-6 全体塗替ケースの最終計画案

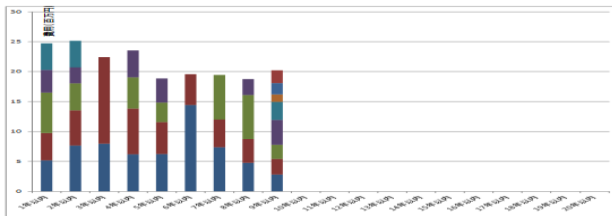


図-7 部分塗替ケースの最終計画案

年間20百万円前後で塗替予算が平準化されている。

なお、これらの全体塗替計画の総費用は全体塗替ケース及び部分塗替ケースに対してそれぞれ、約540百万円（内訳は塗装費用356百万円、補修費用184百万円）及び約193百万円（内訳は塗装費用9百万円、補修費用184百万円）である。

(3) 全体の塗替塗装計画

以上より、事務所全体の塗替塗装計画として、(1)一般橋、橋側歩道橋（図-3）と(2)横断歩道橋（全体塗替ケース、図-6）を合計すると図-8になる。図-8では計画初年度を2014年とし、実施橋梁数を併記しており、全体的には年間100百万円前後の予算で推移する計画となっている。

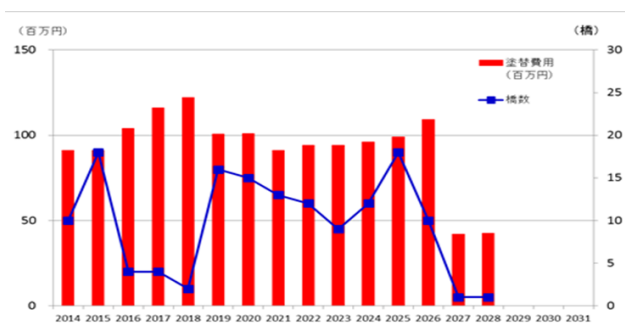


図-8 事務所全体の塗替塗装計画案

3. 塗装診断

3.1 診断対象橋梁の選定

2.2の塗替計画を作成した個別橋梁のうち、優先的に塗替えを行うべきと判断されたもので現場条件や旧塗装系に問題がある橋梁等を塗装診断すべき橋梁に選定した。具体的には、①損傷形態（特殊な損傷や著しい腐食、または代表的損傷）、②橋の重要度（跨線橋、跨道橋やトラス等の特殊な橋梁）、③塗替方法確認（塗装計画の塗替方法の妥当性確認）、④その他（鋼材の亀裂等があり腐食が影響する場合等）の観点とともに、橋梁桁下と河川敷との高さ等の現地条件や制約条件を考慮し選定した。

選定された橋梁は、一般橋11橋（うち耐候性鋼橋梁は2橋。以下同じ）、橋側歩道橋3橋（1橋）、横断歩道橋6橋（0橋）の合計20橋（3橋）である。

3.2 診断方法

塗装診断の方法としては、まず現地での診断を行い、その結果を整理し、塗替塗装の維持管理コスト（以下、LCCと呼ぶ）の比較検討結果を加味し、さらに損傷劣化の状況・原因、環境条件、塗装履歴等を考慮して総合的な診断を行った。

(1) 現地での診断

近接目視により、一般橋、橋側歩道橋では、代表径間の主桁、主構等について桁端部、中間部分に分け、横断歩道橋では通路部（上部構造）、階段部、橋脚部（下部構造）に分けて、外観調査を行った。また、それらの部分において、現塗膜の健全性や構成、腐食環境を調査するために、付着力試験、塗膜分析、付着塩分量測定を行った。

外観調査では、主として構造安全性の観点から塗膜劣化及び腐食について診断したが、横断歩道橋では美観の観点から錆や錆汁等による汚れについても重視した。なお、耐候性鋼橋梁については外観評点³⁾の診断を行った。

付着力試験はアドヒージョン試験により垂直引張力を測定した。塗膜分析は、現塗膜の構成等を把握するために行うもので、膜厚計による塗膜厚の測定と、塗膜の切削による塗膜構成の確認（写真-2）を行った。なお、耐候性鋼橋梁ではセロテープ試験により表面に生成した錆の状態を観察した。付着塩分量測定では基本的に電導度法により行い、一部についてガーゼ拭き取り塩素イオン

土研センター



写真-2 塗膜の切削状況と切削後の塗膜構成
検知管法で補完した。

(2)LCCの比較検討

一般橋、橋側歩道橋（耐候性鋼橋梁を除く）について、①全面Rc-Ⅲ、②全面Rc-Ⅰ、③桁端部のみRc-Ⅰ、④桁端部Rc-Ⅰ、中間部Rc-Ⅲという塗装仕様について、塗替塗装の維持管理コスト（LCC）の比較を行った。

3.3 塗装診断表

3.2による塗装診断の結果を整理するため、①塗装調査台帳及び診断結果、②調査・損傷等位置図、③塗膜調査結果、④中間部調査結果、⑤桁端部調査結果、⑥総括表の6様式からなる塗装診断表を作成した。

①は図-1の塗替計画表と同様な様式で塗替（案）として塗装診断結果の概要を記載している。②及び③は3.2(1)現地での診断の調査・試験の位置（部位）及び結果を整理している。④及び⑤は中間部及び桁端部における損傷劣化状況の写真とそれに対する診断結果を記載している。⑥の総括表はLCCの比較検討の前提条件と検討結果とともに、塗装診断の総合的な結果として、推奨すべき塗替え案（ケース）、塗替え時期、その他の対策等を含む総括コメントを記載している。

3.4 塗装診断の事例

今回塗装診断を行った橋梁のうち、一般橋、橋側歩道橋の代表的な事例を以下に示す。

(1)一般橋の異常な塗膜はく離の事例（A橋）

この橋梁は、建設（1965年）後49年経過し、その間3回（そのうち2回は1987年、2001年）の塗替えを行っているが、2012年の定期点検では見られなかった広範囲にわたる異常な塗膜のはく離が今回の診断で確認された（写真-3）。このはく離は、特に第3径間のウェブや下フランジ下面等に発生しており、建設時の下塗り塗装とその上の層との界面で発生している。その原因は、建設時の塗装材料の品質や施工の影響の他、塗り重ねによる塗装厚増大や最近の塗替え塗装の浸透の影響、

河川からの水分の蒸発や結露の影響等が考えられるが、詳細は不明である。なお、今後既存塗膜に塗り重ねると、さらに塗装厚が増大しはかれるリスクが高まると考えられ、また、はく離した部分に残存する鉛丹は紫外線に弱いことから、そのままでは今後劣化が進行する恐れがある。

一方、桁端部では、伸縮継手からの漏水により支承やその付近の下フランジ等にわずかな錆が見られた。

以上より、第3径間は桁端部（1m程度。橋脚部を含む）と中間部の両外桁の外表面のみをRc-Ⅰで塗替え、第1、第2径間は、多少の塗膜のはく離はあるが美観上問題がないことから、当面はそのまま（塗替えなし）で経過観察とし、桁端部のみRc-Ⅰで塗替え、全体の塗替時期は3年以内とすることを提案した。なお、塗替えを行わない部分は、ワッペン式暴露試験によるモニタリングで塗装環境を把握しつつ今後の塗膜の劣化や錆の進行状況などを調査するとともに、劣化原因については顕微鏡を用いた詳細調査等を行うものとした。



写真-3 塗膜のはく離の状況（A橋）

(2)橋側歩道橋の腐食の事例（B橋）

この橋梁は建設（1985年）から29年経過し、その間1回、2007年にRc-Ⅲで塗替えられており、中間部の塗膜は概ね健全であるが、橋台や橋脚の桁端部では一部の桁で伸縮装置からの漏水により、桁端部のフランジに腐食やウェブに塗膜のはく離が発生していた（写真-4）。腐食の原因は漏水とともに、前回塗替時の除錆が不十分であった可能性があるため、将来的な維持管理を考えると、桁端部は、より耐久性の高い塗装仕様で塗り替える必要がある。

このため、桁端部（橋脚部を含む）のみRc-Ⅰでの塗替を推奨し、塗替時期は腐食があることから早急（3年以内）に行うこととした。なお、中間部においてはワッペン式暴露試験によるモニタリング調査を行い、その結果、腐食の進行次第では、次回に中間部はRc-Ⅲでの塗替を行う塗装仕

様（塗分け）に移行することも考えられる。また、伸縮装置は非排水型であるが長さが不足し漏水があるため、取替または補修することを提案した。



写真-4 桁端部の腐食、塗膜劣化（左）と中間部の状況（右、健全）（B橋）

(3) 橋側歩道橋（耐候性鋼橋梁）の事例（C橋）

この橋梁は、日本海側の海岸線から約2kmの位置に架橋された耐候性鋼橋梁で表面処理剤（保護性さび生成促進処理剤）が塗布されているが、建設後10年を経た現時点でも表面処理剤がほぼ残存した外観を呈しており、保護性さびの有無は確認できなかった。なお、内桁側の下フランジ上面では比較的高い付着塩分量であった。

また、前回の定期点検ではA1橋台上G2桁に層状さびが生じているとされたが、層状にはく離していたのは表面処理剤であった（写真-5）。同様のはく離は内桁側下フランジ上面で垂直補剛材の下端付近に頻発しており、はく離した表面処理剤の下では粗いうろこ状さびが生じ、保護性さびの生成とは言い難い状況であることから、今後の腐食損傷の進行を予測できないと考えられる。

したがって、外観による保護性さびの評価が困



写真-5 桁端部の損傷状況（C橋）

難なことから、表面処理剤の性能発現の確認のためには、非破壊による検査法を確立し対応する必要があるとした。なお、層状にはく離する表面処理剤は被膜下に飛来塩分や水分を保持し鋼材へ悪影響を及ぼすため早急に除去することや、桁端部の定期的な塗替を提案した。

4. おわりに

今回、橋梁定期点検調書のデータを基本にしつつ一部の橋梁での塗装診断結果を反映し、かつ部分塗替や塗分けなどの塗替方法を積極的に採り入れた合理的な塗替塗装計画を立案した。その過程では、橋梁定期点検調書等のデータの精査、劣化損傷の判定、塗替案の立案、塗装診断による塗替仕様・範囲、時期、その他対策の提案、診断結果の塗替計画への反映等の一連の検討を行った。

その結果、従来から行われている、同一仕様による全面塗替の計画に比べ、合理的でかつ大幅なコスト縮減が図ることが可能となった。

今後は、この計画に基づき塗替塗装の予算要求や工事実施を進めるとともに、新たな定期点検結果を基にした見直しなどを行うことが考えられる。

最後に、今回のような取り組みにより、各機関において、道路橋長寿命化修繕計画の見直し、特にコスト縮減が進められることを期待したい。

参考文献

- 1) 玉越隆史、赤川正一、佐藤和徳、藤原久、中野正則、安波博道：鋼橋の部分塗替え塗装の取組みと試験施工、橋梁と基礎、2011.5
- 2) 平成24年度九州地区NW代表幹事 長崎大学 森田千尋：既設横断歩道橋を対象とした維持管理手法の検討、H24年度九州地区土木鋼構造ネットワーク活動報告
- 3) 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術、JSSCテクニカルレポート日本鋼構造協会2006.10

田口 仁



国土交通省九州地方整備局福岡国道事務所管理第二課長
Hitoshi TAGUCHI

中野正則



(一財)土木研究センター常務理事
Masanori NAKANO

安波博道



(一財)土木研究センター材料・構造研究部長、工博
Dr.Hiromichi YASUNAMI

五島孝行



(一財)土木研究センター企画・審査部次長
Takayuki GOTO

中島和俊



(一財)土木研究センター材料・構造研究部主任研究員
Kazutoshi NAKASHIMA