

## 2. 耐侯性鋼橋梁の損傷分析とさび外観評価システムの提案

技術委員会 製作小委員会

## 2. 耐候性鋼橋梁の損傷分析とさび外観評価システムの提案

技術委員会 製作小委員会 耐候性鋼橋梁部会

阿部浩志 石原一伸 岩川貴志 上田博士

川村弘昌 志賀弘明 杉山幸一 鈴木克弥

### 1. はじめに

耐候性鋼材は、普通鋼材に適量の Cu、Cr、Ni などの合金元素を添加することにより、鋼材表面に緻密なさび層(保護性さび)を形成させ、鋼材表面を保護することでさびの進展を抑制し、腐食による板厚減少速度が工学的に十分小さくなる特長を持っている。

この耐候性鋼材を使用した耐候性鋼橋梁は、建設が本格的に開始されてから 40 年近くが経過し、公共工事のライフサイクルコストの削減が強く求められる中、採用実績を着実に伸ばしてきた。一般社団法人日本橋梁建設協会(以下、橋建協と称する)調査による平成 22 年の実績調査では、耐候性鋼橋梁の発注量は約 7 万 4 千トンと、鋼橋発注量全体の約 25%を占めるまでになっており、総建設量も 160 万トンを超えている。図-1.1 は 1978 年以降の耐候性鋼橋梁の単年の建設量の推移を示し、図-1.2 は耐候性鋼橋梁の累計の建設量を示す。

その一方で環境評価や構造細部への配慮が十分でなく保護性さびが形成されず、対策が必要な橋梁も見られる。耐候性鋼橋梁部会(以下、部会と称す)では、耐候性鋼橋梁の建設初期から実橋調査を積極的に行ってきた。その結果、損傷は主に桁端や漏水部に集中し、しかも凍結防止剤を散布する地域ではその傾向が顕著に現れている。現在では、この実橋調査を受けて耐候性鋼橋梁に桁端塗装は必須としており、排水装置や床版水抜き管からの漏水は絶対に避けなければならないとしている。

本文は上述の実橋調査結果に対する分析を行い、損傷事例と補修方法、計画・設計時の構造詳細の推奨ディテール、点検におけるさび評価の方法を紹介する。

### 2. 実橋調査分析

#### 2.1 実橋調査データ

部会では 1984 年(昭和 59 年)から、定期的の実橋調査を行ってきており、2011 年までに 261 橋の橋梁を調査した。調査橋梁の内訳を表-2.1 に示す。このうち、離岸距離規定<sup>1)</sup>を満たしている 154 橋の、調査実施時点での供用年数の内訳を図-2.1 に、全国分布を図-2.2 に示す。これより、データは日本全国に分布していることがわかる。ここで、供用期間が短い橋梁では腐食損傷が生じる確率が低いと考えられることから、供用年数が 5 年以上の 134 橋について分析を行った。さらに、この 134 橋のうち凍結防止剤が散布されることが確認されている 76 橋について、凍結防止剤散布橋梁として分析した。なお、5 年未満の 20 橋のうち 2 橋に漏水による損傷が見られたことを付記する。

表-2.1 実橋調査橋梁数

離岸距離規定満足		左記以外	
154		107	
供用5年以上		供用5年未満	
134		20	
凍結防止剤散布橋梁	左記以外		
76	58		

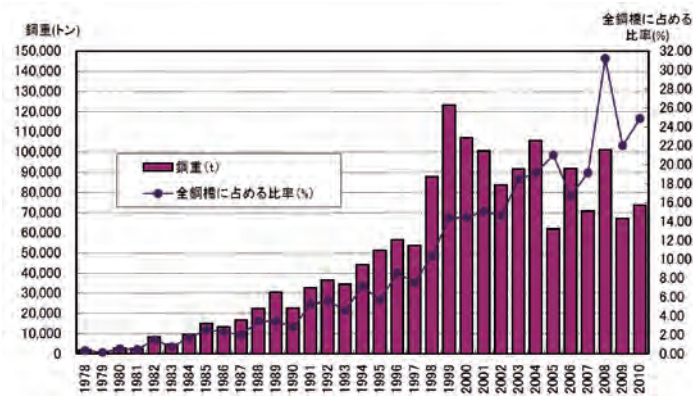


図-1.1 耐候性鋼橋梁の単年の建設量

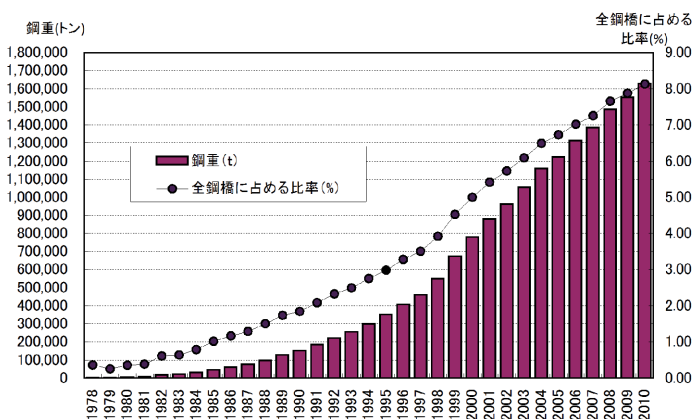


図-1.2 耐候性鋼橋梁の累計の建設量

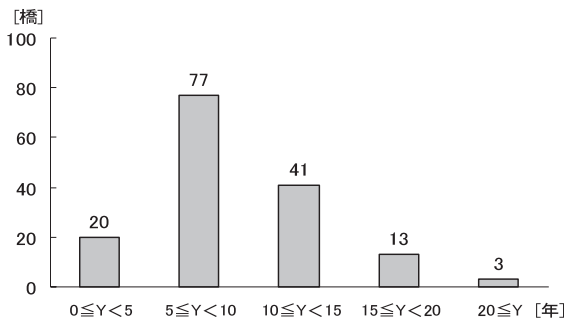


図-2.1 調査橋梁の供用年数

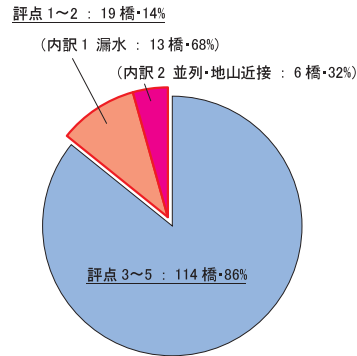


図-2.3 一般部の損傷状況

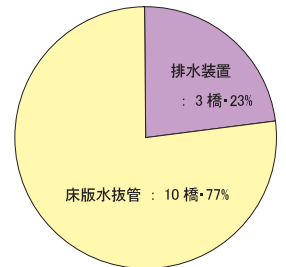


図-2.4 一般部の漏水部位

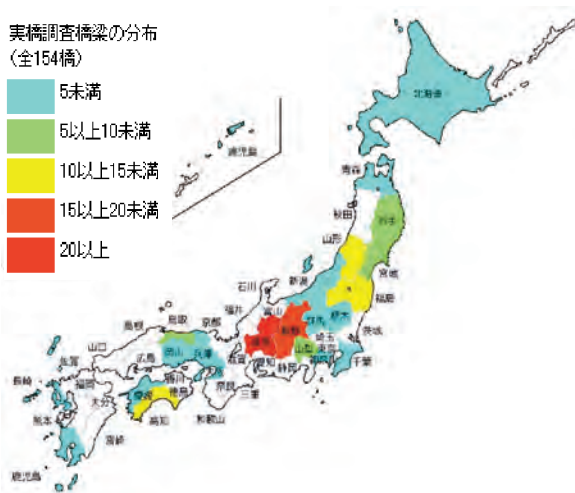


図-2.2 実橋調査橋梁の分布

## 2. 2 損傷事例と要因の分析

### (1) 漏水の影響

さびの外観は、さび外観評点により評点 1~5 に分類される<sup>2)</sup>。評点 1 は補修が必要な状態、評点 2 は要観察状態、評点 3~5 は良好な状態である。134 橋のデータを、桁端部と一般部とに区分し、それぞれ評点 1~2 と評点 3~5 で整理した。図-2.3 より、一般部では、133 橋中 86% に上る 114 橋が良好な状態にあることがわかる。一方、14% の 19 橋が評点 1~2 となっている。このうち 32% の 6 橋は、並列・地山近接の橋梁で、凍結防止剤散布路線では避けるべき配置の事例であり、68% の 13 橋は漏水による事例である。なお、図-2.4 に示すように、一般部における漏水の 77% が床版水抜き管であり、影響が大きいことがわかる。これは、橋面からの漏水は少量であるが比較的長時間にわたり滴下することで、鋼材表面を長時間湿潤状態に保っているためと考えられる。

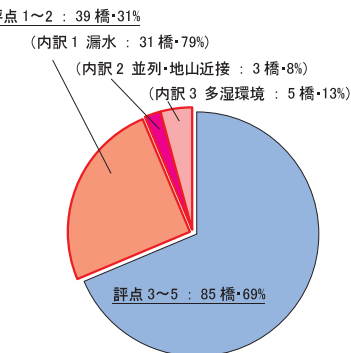


図-2.5 桁端部の損傷状況

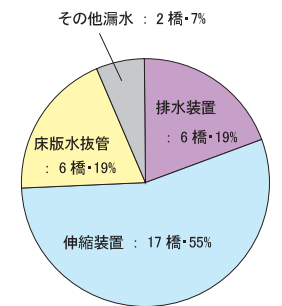


図-2.6 桁端部の漏水部位

一方、図-2.5 に示すように、桁端部では、124 橋のうち 31% に上る 39 橋が評点 1~2 となっている。このうち、並列・地山近接配置や多湿環境といった不適切な環境条件を除くと、約 8 割が漏水によるものである。特に、図-2.6 に示すように伸縮装置からの漏水が 55% と多いことがわかる。また、分析対象外の 5 年未満の 20 橋のうち、既に 2 橋が漏水により損傷していることから、漏水に対しては、耐候性鋼橋梁は塗装橋梁以上に特別な注意を払う必要があると判断される。

### (2) 凍結防止剤の影響

凍結防止剤散布橋梁における一般部と桁端部の損傷状況を図-2.7 に示す。ここで凍結防止剤散布橋梁とは調査後の管理者に対するヒヤリングにより「凍結防止剤の散布がある」と明確に回答があった橋梁である。

(1) に比較して、一般部では評点 1~2 の割合が 23% と 1 割程度多く、桁端部ではほぼ同じである。このことから、凍結防止剤を散布する路線では、並列・地山近接といった不適切な環境条件や漏水の影響がより顕著に現れることが分かる。

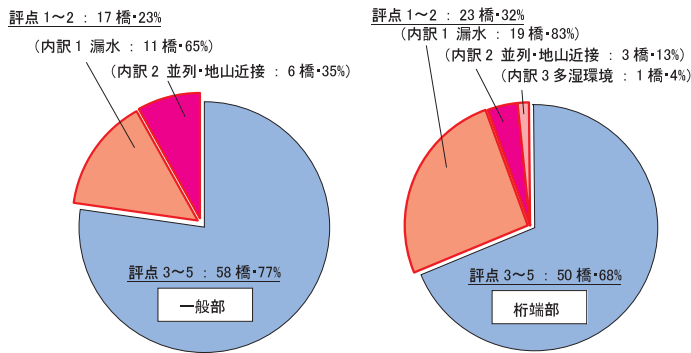


図-2.7 凍結防止剤散布橋梁の損傷状況と要因

### 2. 3 実橋調査から得られる知見

離岸距離規定を満足し、かつ供用期間が5年以上の134橋の調査データの分析結果から、以下の傾向が明らかとなった。

- 適切な環境条件、構造条件および維持管理がなされる前提においても、漏水のようなアクシデントに備える必要がある。特に一般部においては床版水抜き管、桁端部においては伸縮装置からの漏水が大きな要因である。
- 漏水に凍結防止剤が混入すると、腐食速度が加速する可能性があるため、凍結防止剤散布橋梁における漏水には、特に注意が必要である。
- 凍結防止剤を散布する路線では、並列・地山近接といった不適切な環境条件や漏水の影響がより顕著に現れる。また、凍結防止剤が実際に損傷を引き起すレベルの把握が、今後の課題である。

## 3. 損傷事例と補修方法

### 3. 1 補修の考え方

ここでは実際の損傷事例を示し、その補修方法を紹介する。

損傷した耐候性鋼材を補修する際には、まず損傷原因を究明し、それを排除することを第一に考える必要がある。耐候性鋼材の損傷原因は、主に地域・地形的な要因（立地環境）と設計・施工的な要因（構造）に大別される。一般に地域・地形的な要因の場合は、原因を排除することが困難な場合が多い。事例として、沿岸部の飛来塩分量の高い地域で、全般的に腐食しているような橋梁があげられる。このような場合は、塗装などによる他の防食法の採用が必要となる。一方、

設計・施工的な要因の場合は、原因排除が可能な場合が比較的多い。例えば、排水装置の流末の不備により、鋼材に長期的に水滴が飛散して腐食が進行しているような事例である。このような場合は、流末を桁下まで導水するなどして原因（水滴）を排除し、腐食状況に応じて鋼材に対する補修等の要否を検討する。

### 3. 2 損傷事例と補修事例

#### (1) 離岸距離

写真-3.1は海岸線からの距離が短く、飛来塩分量が多いため全般的に腐食した事例である。このように環境的要因で損傷した場合は、要因となる塩分環境を改善することが困難なため、塗装等の他の防食法による補修が必要である。補修塗装にあたっては、水洗いやブラストにより付着塩分を除去し、確実な素地調整を実施することが重要である。



写真-3.1 飛来塩分による損傷事例



写真-3.2 補修塗装事例



## (2) 閉塞的空間

写真-3.3に示すような地山に近接した橋梁で、かつ凍結防止剤を大量に散布する路線の場合、走行車両が巻き上げた塩分を含む飛沫が地山と桁の間の空間にこもり、塩分濃度の高い湿潤な環境が形成され、腐食速度が速くなる。また、写真-3.4に示す桁下空間が少ない橋梁は、風通しが悪く腐食が進行しやすい。これらのように、不適切な立地環境が要因で損傷した場合は、要因となる環境を改善することが困難なため、他の防食法による補修が必要となる。



写真-3.3 閉塞的空間事例（地山近接）



写真-3.4 閉塞的空間事例（桁下空間不足）

## (3) 凍結防止剤大量散布路線の並列橋

写真-3.5 凍結防止剤大量散布路線の並列橋梁で、中央分離帯にわずかな隙間がある構造例である。このような構造では、走行車両が巻き上げた塩分を含む飛沫や砂塵等が中央分離帯の隙間から桁へ落ち、下フランジ上に堆積して桁の腐食を進行させる場合がある。対処方法としては、図-3.1に示すように隙間をゴム板等で塞ぐことで腐食要因を排除することができる。腐食要因が排除可能で、板厚の腐食量が耐荷力に問題のな

いレベルであれば、写真-3.6に示すように水洗い等で環境を改善した後、経過を観察し、腐食速度が抑えられているようであれば、補修塗装を行わずに使用を続けることも可能である。



写真-3.5 凍結防止剤散布路線の並列橋

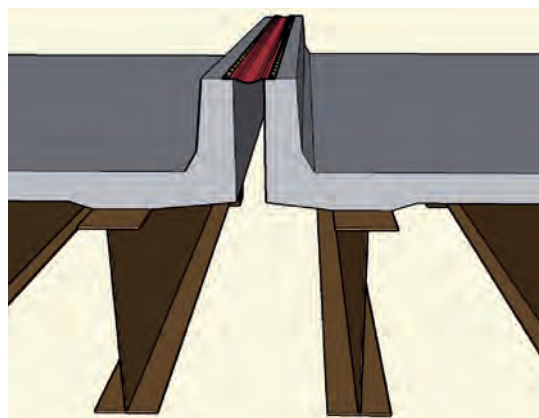


図-3.1 ゴム板による止水例



写真-3.6 水洗い例

#### (4) 伸縮装置の損傷

写真-3.7 は伸縮装置からの漏水により桁端部が腐食した事例である。このような場合、まずは伸縮装置からの漏水を止める補修が必要である。また、桁端部は構造的に腐食環境が悪化しやすいため、近年の新設橋では塗装を施すことを推奨している。たとえ漏水を排除できたとしても、併せて補修塗装を実施することが望ましい。写真-3.8、3.9に補修塗装の事例を示す。補修塗装範囲の考え方は、新設時に必要な塗装範囲および損傷した範囲以上とするのが望ましい。



写真-3.7 伸縮装置からの漏水による腐食



写真-3.8 部分的な補修塗装事例



写真-3.9 桁端補修塗装事例

#### (5) 床版の損傷

写真-3.10 は床版に生じた亀裂からの漏水により主桁が腐食した事例である。写真-3.11 は床版からの漏水を簡易的な樋にて集水し、桁下へ導水した事例である。根本的な対策としては、床版の亀裂および防水層を補修する必要があるが、路面側からの作業は通行制限も必要となり大掛かりなものとなる。そのため、根本対策までの期間に桁の腐食の進行を抑える措置としては写真-3.11のような漏水を導水する対策も有効である。桁端部以外であれば、このような暫定的な措置により腐食要因を排除したのち、腐食速度が十分に抑えられていれば、塗装による補修をしないで継続的に使用することも可能である。ただし、腐食量が耐荷力に影響を及ぼすまでに進行していないことが前提である。また、塩分が付着している場合は、水洗いや固着さびの除去を実施してから経過を観察することが望ましい。



写真-3.10 床版からの漏水による腐食



写真-3.11 床版漏水の補修事例



#### (6) 排水計画の配慮

写真-3.12 は排水管の流末から垂れる雨水が風で巻き上げられ、桁を腐食させた事例である。写真-3.13 は排水管流末を桁下まで十分に延ばし、流末水が桁にかからないようにした事例である。河川上などは風が強い場合が多く、排水が巻き上げられるので注意が必要である。排水管の下端は下フランジから1m程度離すのが望ましいが、河川のH.W.L.との関係にも配慮し、長さを決定するのが良い。補修後の対応としては(5)と同様である。



写真-3.12 排水流末からの飛散で腐食した例



写真-3.13 排水管流末を桁下まで十分延ばした例

#### (7) 床版防水計画の配慮

写真-3.14 は床版水抜き管からの排水が桁に直接かかり、腐食を進行させた事例である。水の量はわずかでも長期間湿潤状態に曝されたままになると腐食は急速に進行する。このような損傷を避けるために、写真-3.15 のように床版水抜き管は排水管へ導水する、あるいは、水抜き管の流末を延長し、桁下まで導水する必要がある。流末管の延長は比較的容易に行なえる補

修であるため、発見後は速やかに実施することが望ましい。補修後の対応としては(5)と同様である。



写真-3.14 床版水抜き管の排水で腐食した例



写真-3.15 床版水抜き管を排水管へ導水した例

#### (8) 雨水・塵埃堆積

写真-3.16 は支点上補剛材下端にスカーラップがないため、水分が溜まり腐食環境を悪化させている事例である。このように、スカーラップがない、または小さい構造の場合、堆積した塵埃等が水分を含み、長期的に湿潤環境になる原因となるため、清掃を行なって環境を改善させる、あるいは塗装を行なうなどの対策が必要である。

新設時の配慮としては、中間支点であれば写真-3.17 のように大きめのスカーラップを設ける。桁端部であれば塗装を施すため、写真-3.18 のように水切り板を設けて下フランジ上を伝う水分を遮る方法などがある。桁端塗装を施した部位におけるスカーラップ等の構造詳細は基本的に塗装橋と同様で良い。



写真-3.16 支点上滞水事例



写真-3.17 支点上補剛材スカーラップ設置例



写真-3.18 水切り板設置例

#### 4. 構造詳細

2、3章で述べたように損傷は漏水部および桁端部に集中している。従って新設橋の設計時に有効と考えられる構造詳細の一例を提案する、また既設橋においても、補修時の対策として、極力これらの構造詳細を採用するのが望ましい。

#### 4. 1 下フランジ水切り板

縦断勾配の高い側、低い側共に図-4.1、図-4.2に示すように、桁端付近の下フランジに水切り板を設置する。理由は縦断勾配の高い側は、桁端部で漏水があった場合に塗装を行っていない一般部に流れ込むことを防ぐためであり、一方、縦断勾配の低い側は、一般部へ降り注いだ雨水や漏水による流れさびが支承部や橋台等にかからないようにするためである。

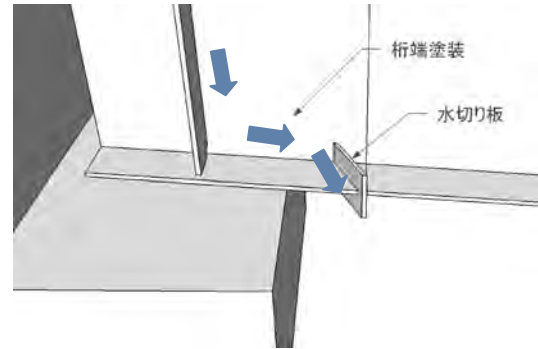


図-4.1 下フランジ水切り板(縦断勾配の高い側)

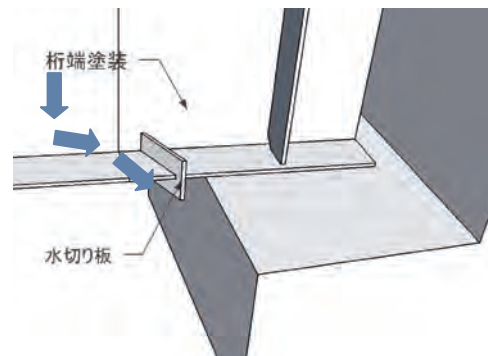


図-4.2 下フランジ水切り板(縦断勾配の低い側)

#### 4. 2 桁端部

桁端部とその周辺は最も腐食しやすい環境にあるため、防食・防塵には特に配慮する必要がある。伸縮装置からの漏水、土砂の堆積、通気性の悪さなどを考慮すると図-4.3に示す桁端部の範囲は塗装することが望ましい。塗装範囲は最近の実橋調査における損傷範囲を考慮して、下部工前面ラインまたは桁高×1.0の範囲のうち、大きい方とする。また、その仕様は外面塗装系とし、外桁の外側面も塗装することとする。この場合、塗装橋梁と同様に、ある一定の期間で塗替えを行う必要がある。



なお桁端部の通気性を確保する方法として、桁端部の腹板を応力的に可能な限り大きく切欠くことも有効である。

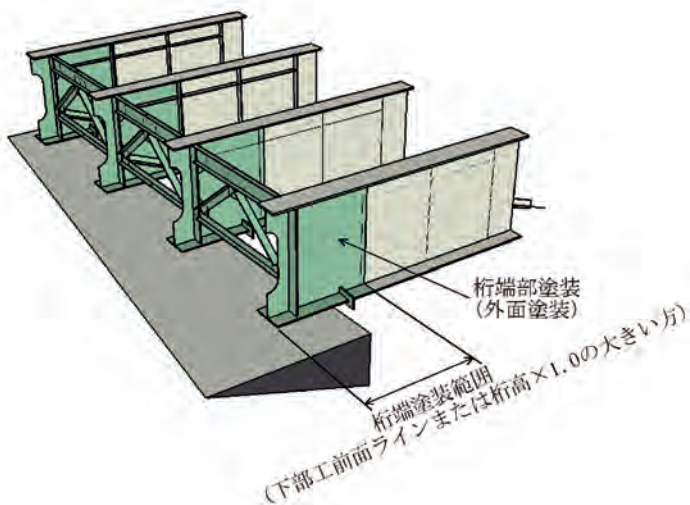


図-4.3 桁端塗装範囲の例

#### 4. 3 伸縮継手

伸縮継手部からの路面排水の漏水は、桁端部および支承の腐食環境を厳しくし、耐候性鋼橋梁に重大な欠陥をもたらすため、特に水密性に優れた非排水構造を採用するのが良い。更に非排水構造であっても水密性の長期継続は困難な場合が多く、伸縮ドレーン管は写真-4.1に示すように、排水管への接続または橋台前面まで導水する。なお、桁端部は塗装を行うこととしているが、フェールセーフの観点から伸縮継手部においても上記の仕様を推奨することとした。

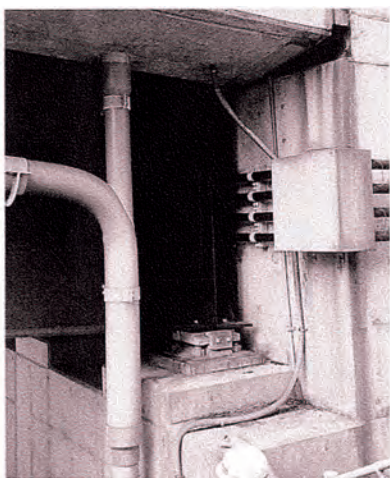


写真-4.1 伸縮継手部 排水処理例

#### 4. 4 排水装置

排水装置は路面排水によって鋼桁を濡らさないような設計をする必要がある。ここで言う排水装置には路面の水を直接排水する排水管のほか、床版と舗装間の水を抜くための床版水抜き管等も含んでいる。その配置が適切で無かった場合、あるいは排水管の目詰まり等により継ぎ目などから漏水が生じた場合、路面排水が鋼部材を濡らして保護性さびの形成を妨げる恐れがある。したがって、排水装置の設計では、以下の事項に配慮するのが良い。

- (1) 排水管は写真-4.2 に示すように、排水柵から鉛直に下ろし、鋼部材の下端から突出長(1000mm 程度)を十分確保した垂流し構造を推奨する。
- (2) やむ得ず横引き構造とする場合は、3%程度の排水勾配を設け、出来るだけ大口径の管を使用し、ジョイントは漏水が生じない構造で、鋼部材の直上での設置は避ける。



写真-4.2 床版水抜き管の流末の処理例

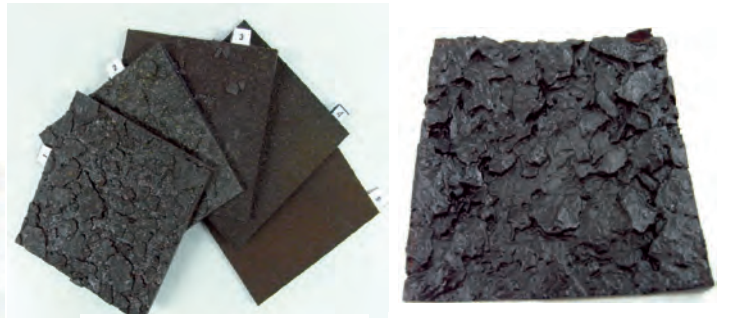
### 5. 点検方法とさび外観評価補助システム

#### 5. 1 耐候性鋼橋梁の維持管理における課題

適切な維持管理を行うためには、まず、適切に状態を評価し、診断する必要がある。現在、耐候性鋼橋梁の健全性を評価する場合、写真-5.1 に示すような写真見本などを参考に目視点検により5段階評価で行われるのが一般的である。これは、三者共研報告書<sup>2)</sup>により提案され、現在でも使用されている手法である。この手法は、さびの状態を大まかに捉え、全体の目視点検と併せて構造物の状態を知るのには適しており、一次点検として極めて有効な手法である。しかし、評価

者の経験などによって評価のばらつきが生じやすいという課題も指摘されている。また、さびの外観は、部材の置かれた環境などによって様々な様相を呈する。そのため、ある特定の写真と比較するだけでさび状態を評価するのは難しいという点検者からの意見もあり、よりばらつきの少ない評価手法が求められている。

ていたが、現在は3D スキャナにより実際のさびを読み取り、3D プリンタにより出力することで、現実のさびをダイレクトに再現することが可能になっている。



さびサンプル（樹脂） さびサンプル（3Dプリンタ）

写真-5.2 さびサンプル

点検技術者支援のためのもうひとつのツールは「映像によるさび評価補助ツール」であり、主に以下の3つの特長を持ち、図-5.1 に示すようにさびサンプルと補完し合って従来の点検手法をさらに向上させるものである。

- ①動画は写真で見るとよりも表面の凹凸などが認識しやすい。
- ②耐候性鋼材のさび状態は、同じ評点であっても、部材の向きや日照の有無など条件によって状態は様々である。さびサンプルは各評点における代表的なさび状態のみを模しているが、動画は評点および部材ごとに複数の事例を揃えているため、様々な条件に対して、より近いさび状態を探しやすい。
- ③調査現場において、携帯型タブレット端末などを用いて、さびレベル毎の動画等の情報と実際の鋼材表面とを比較してさびの外観評価を行えるため、携帯性を失うことなく、評価精度の向上に寄与できる。

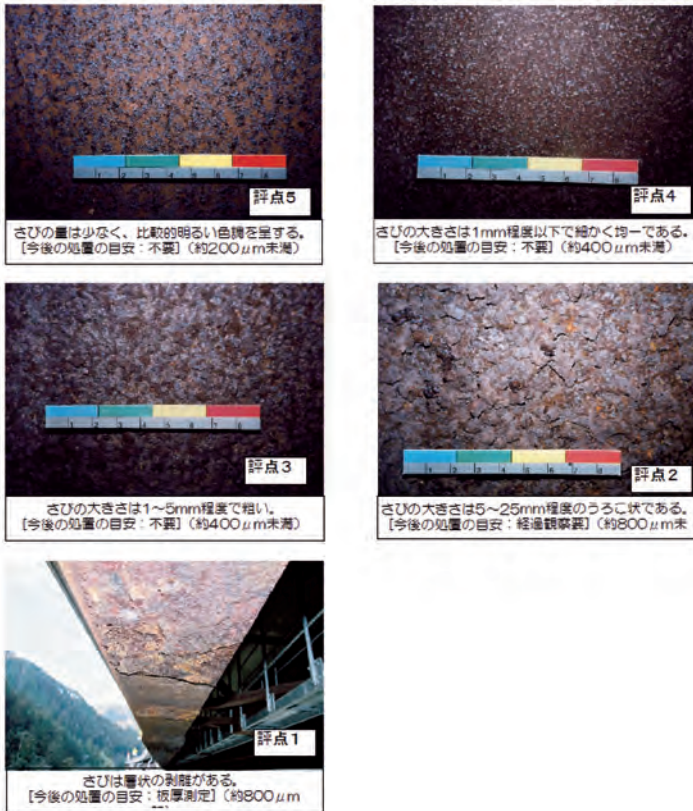


写真-5.1 外観評点写真見本

## 5. 2 さび外観評価補助システムの開発

前述の課題に対応するため、当協会では耐候性鋼材のさび状態の評価を補助するために「さび外観評価補助システム」と称するシステムの開発を進めている。このシステムは、現在開発中のものも含めると全部で3つのツールから構成されるものであり、今回は、その中から運用を開始している2つのツールを紹介する。そのひとつは「さびサンプル」と呼ばれる耐候性鋼材のさび状態を再現して製作された模型である。2000年頃から開発され、現在でも少しずつ改良を加えながら活用している。さびサンプルは、写真-5.2 に示すように約10cm四方の模型を5段階の評価ごとに製作したもので、写真見本よりも表面の凹凸感をより現実に近い状態に表現できるため、各評点の特徴を理解しやすい。なお、開発当初は樹脂製の模型を手作りで製作し

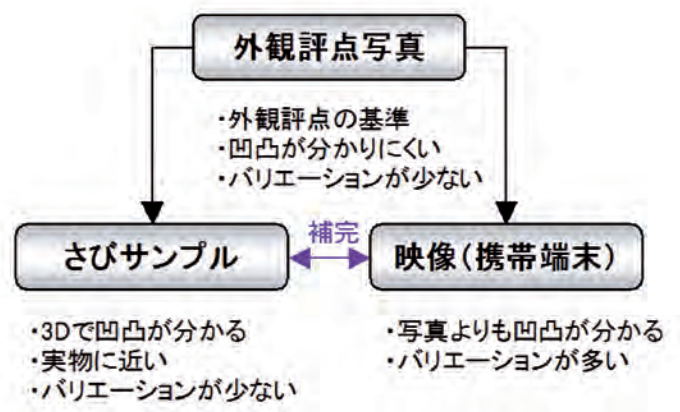


図-5.1 さび外観評価補助システムの構成



図-5.2 に映像によるさび評価補助ツールの使用イメージを示す。映像は当協会のホームページの「技術者向け情報」より誰でも無料で閲覧が可能である (URL : <http://www.jasbc.or.jp/sabi/>)。また図-5.3 のQRコードでもアクセス可能である。



図-5.2 映像によるさび評価補助システムの使用イメージ



図-5.3 さびサンプル画像へのアクセスQRコード

### 5. 3 今後の展望

本システムを活用することで、従来の写真見本だけの評価に比べて、評価精度の向上・ばらつきの解消に寄与できるものと考えている。しかし、現在のシステムは最終的には技術者の判断を必要とするものであるため、技術者の判断の裏づけとして、客観的かつ定量的な評価が可能なツールも用意することで、よりばらつきの少ない適切な評価手法を確立できると考え開発を進めている。今後は更に本システムを利用した技術者からの意見なども参考にしながら、実橋におけるさび映像およびさびの3次元情報を蓄積し、より実用的なシステムの構築に向けて研究・開発を進めていきたい。

## 6. 耐候性鋼橋梁のライフサイクルコスト

耐候性鋼橋梁は適切な維持管理を行えば、ライフサイクルコスト (以下、LCC と称す) を低減できる。以下に防食仕様や橋梁形式別の LCC 算出結果を示す。

算出に当たっては、「鋼橋のライフサイクルコスト (2011年版) 日本橋梁建設協会」を参考にし、主構造のみを抜き出して積算している。

### 6. 1 各形式の設定条件

#### (1) 「耐候性鋼材 一般部無塗装仕様」

耐候性鋼材のもっとも基本的な使用方法である。通常は、原板ブラストによって黒皮を除去するが、工場出荷時の製品ブラストは行わないことが多いため、製品ブラストを含めないこととした。桁端部は、腐食防止を目的に桁端塗装を施す事例が多いためこれを考慮する。なお、この桁端塗装は、初期費用及び塗り替え塗装費用を考慮する。

#### (2) 「耐候性鋼材 一般部耐候性鋼用表面処理仕様」

初期の外観を整え、さび汁による汚れを防ぐために表面処理剤を施工するが、長期的な姿は裸仕様と同様となる。裸仕様と同様に桁端塗装の初期費用・塗り替え費用を考慮する。

#### (3) 「塗装仕様」

代表的な防食仕様として塗装仕様を対象とする。なお、外面と内面はそれぞれ C-5 塗装系、D-5 塗装系とする。また、箱桁の内面は全ての仕様において内面塗装を考慮している。

LCC にはさらに伸縮装置の更新費を考慮する。これは伸縮装置の漏水が、腐食原因となるアクシデントの中で最も発生確率が高く (図 2.5、2.6 参照)、これを防ぐための予防保全措置としての費用を考慮した方が良く考えたためである。伸縮装置は鋼製フィンガー形式で、漏水の原因となった弾性シール材を現場下面からの取替えを想定した。なお、更新年数は 20 年としている。



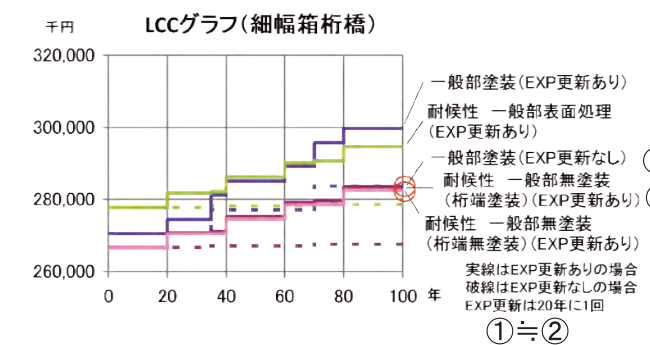
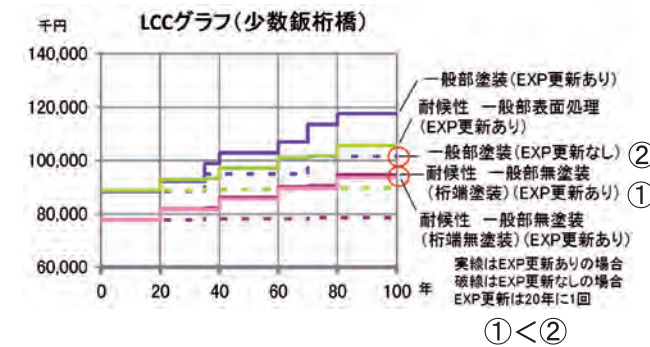
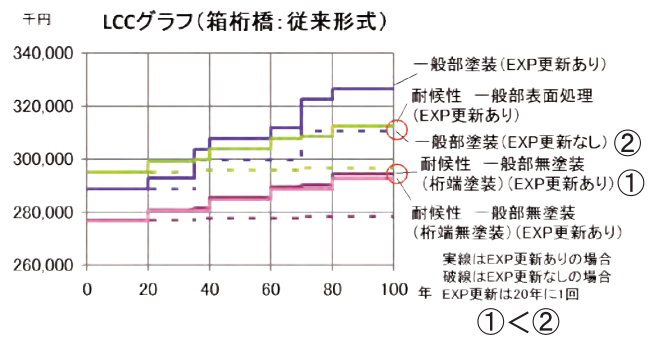
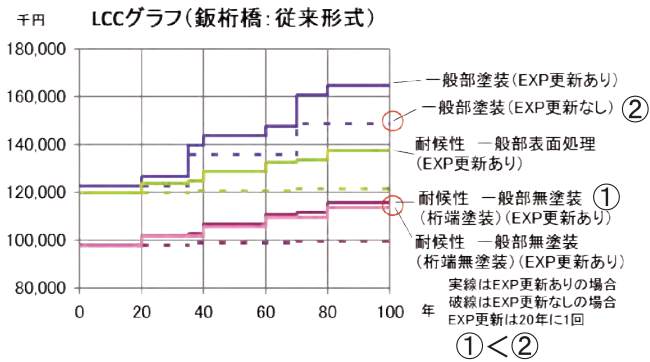


図-6.1 ライフサイクルコスト (LCC) 算出結果

上記に示すように、耐候性鋼材（一般部無塗装仕様）を使用した橋梁で漏水した伸縮装置を補修して使用する場合のLCCは、塗装橋梁で伸縮装置を補修しない場合に比べて安価となる結果が得られた。実際には塗装橋において、伸縮装置の交換は必要となる場合が多いが、取替え周期は耐候性鋼橋梁よりは長いと考え、安全側の設定として塗装橋の伸縮装置の交換はないものとして比較を行った。

塗装橋の伸縮装置の交換も考慮すると、耐候性鋼橋梁（一般部表面処理）と比較しても、LCCは塗装橋梁よりも安価になることは十分考えられる。

また、耐候性鋼橋梁用に簡単に取替え可能な伸縮装置の止水材構造を提案できれば、伸縮装置の取替え費用が下がり、LCCの更なる低減がはかれるため、今後検討していきたい。

## 7. まとめ

耐候性鋼橋梁は採用され始めた当初は、メンテナンスフリーで維持管理にほとんど手をかける必要がないという認識で使用されてきた経緯がある。しかし、実際には点検によりさびの状態を正しく把握し、必要であれば補修・補強を行うことが、ミニマムメンテナンスを実現する上で非常に重要である。

既設の橋梁を調査・分析した結果、損傷は床版や桁端の漏水部に多く発生しており、点検は特に漏水の有無に着目して行う必要がある。また、点検におけるさびの状態の評価は、点検者によりばらつきがあるのが実状であるが、橋建協としてはいくつかのツールを提供し、点検時のばらつきをなくすことに貢献したいと考えている。

今後、耐候性鋼橋梁が長く使用し続けられるようにするためには、新設橋の場合に推奨ティテールを採用するのはもちろん、場合によっては既設橋にも予防保全として推奨のティテールに変更していくことも有効な方法と考えられる。

## 参考文献

- 1) 鋼道路橋塗装・防食便覧：日本道路協会（H17.12）
- 2) 建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会；耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書（VIII）(S61.3)