

3. さびの外観性状の記録方法の検討

3.1 外観評点によるさびの評価

2章に示したように、既往の耐候性鋼橋の表面性状の事例からは、さびの的確な評価のためには、さびの平面形状のほか凹凸も考慮した立体的形状と大きさ、および色調も正確に把握する必要があることが明らかである。さびの粒子の大きさについては、環境が厳しいほど大きなものが生成し、また、塩分が多い環境や常に湿潤しているなど、特に厳しい環境にある場合は、層状に剥離するさびが生成する^{3.1)~3.6)}。さびの色調の変化は、時間の経過とともに[1]赤・黄・橙系→[2]赤褐色・黄褐色系→[3]褐色・暗褐色・黒褐色系→[4]灰色・暗灰色・黒色へと変化する^{3.1)~3.6)}。文献 3.6)において、さびの状態の評価にはこれらを考慮するのが良いと示されているものの、図-1.1 または図-1.3 に示すように、さびの写真見本は種類が少ない。文献 3.5)には各外観評点について複数の写真見本が示されているものの、色調やさびの大きさの記録方法が統一されておらず、さびの凹凸の再現もされていないことから、実際のさびとの正確な対比は難しいと考えられる。

対比する写真見本、あるいは統一的な記録方法がない状態で、さびの立体的形状と大きさ、および色調を考慮したさびの評価を行う場合、以下のことが課題として挙げられる。

(1) 外観評点によるさびの評価の課題 1)

図-3.1 に、4章で後述する③-14 のさび事例の近景写真を示す。本章で後述する色調補正は行っていない。この図は、さびの色調が全体的に明るく黄褐色でまだら色のように見ることがもできる。また、さびの凹凸は明確には見えない。これらに対して、図-1.3 を見ると、外観評点 5 とする可能性もあると考えられる。実際は、③-14 のカラーアナグリフ写真による凹凸や、セロファンテープ試験による浮きさびの採取から、うろこ状のさびが生成していることがわかる。以上より、さびの写真見本が少なく、あるいは統一的な記録方法がない状態で、実際の耐候性鋼橋のさびを近接目視する場合でも、さびの立体的形状や大きさ並びに色調を正確に把握しない場合は、さびの評価を見誤る可能性があると考えられる。

そのため、現場での点検時および写真などによるさびの記録時には、さびの平面形状のほか凹凸も考慮した立体的形状と大きさを正確に把握すること、および記録の再現性が重要となる。

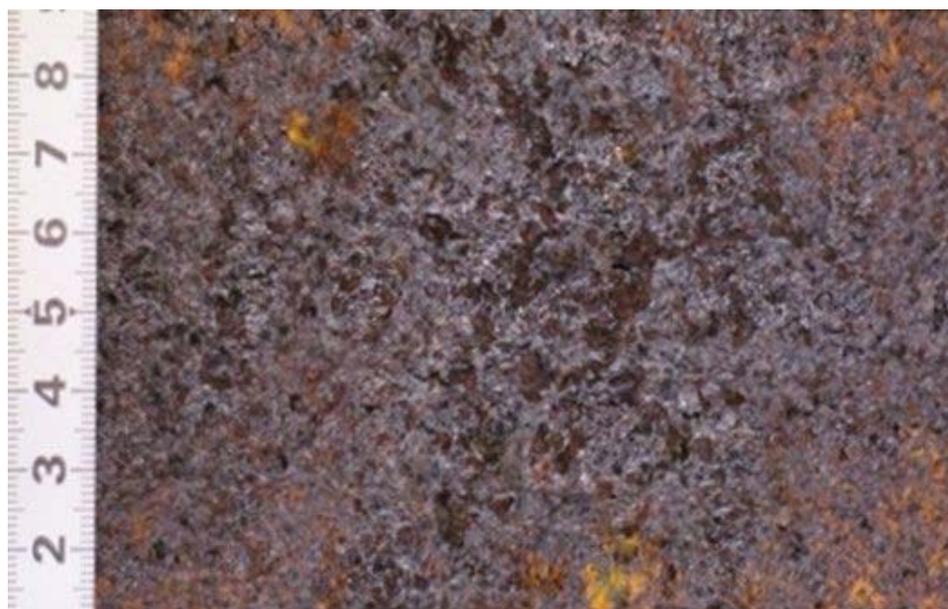


図-3.1 4章の③-14 のさび事例の平面写真
(外観評点 5 とする可能性もあるが、実際は外観評点 2 相当のうろこ状のさび)

(2) 外観評点によるさびの評価の課題 2)

図-3.2 に、実際の耐候性鋼橋の同じ位置における同じ状態のさびについて、日照条件が(a)日向と(b)日陰と異なる写真を示す。図-1.1 あるいは図-1.3 による外観評点を適用する場合、日照条件を考慮しないと、(a)を外観評点 5、(b)を外観評点 4 と判断する可能性がある。図-1.2 によると、外観評点 5 も 4 も板厚減少量は小さいものの、進行性の推定などを見誤る可能性がある。特に、図-3.2 は日照を受ける外側の分かりやすい例を示しているものの、日照を受けない内側の場合はビデオライトなどの光源を活用しない場合、点検時には常に(b)の状態で見えることとなる可能性がある。

そのため、現場での点検時および写真などによるさびの記録時には、さび本来の色調を正確に把握すること、および記録の再現性が重要となる。

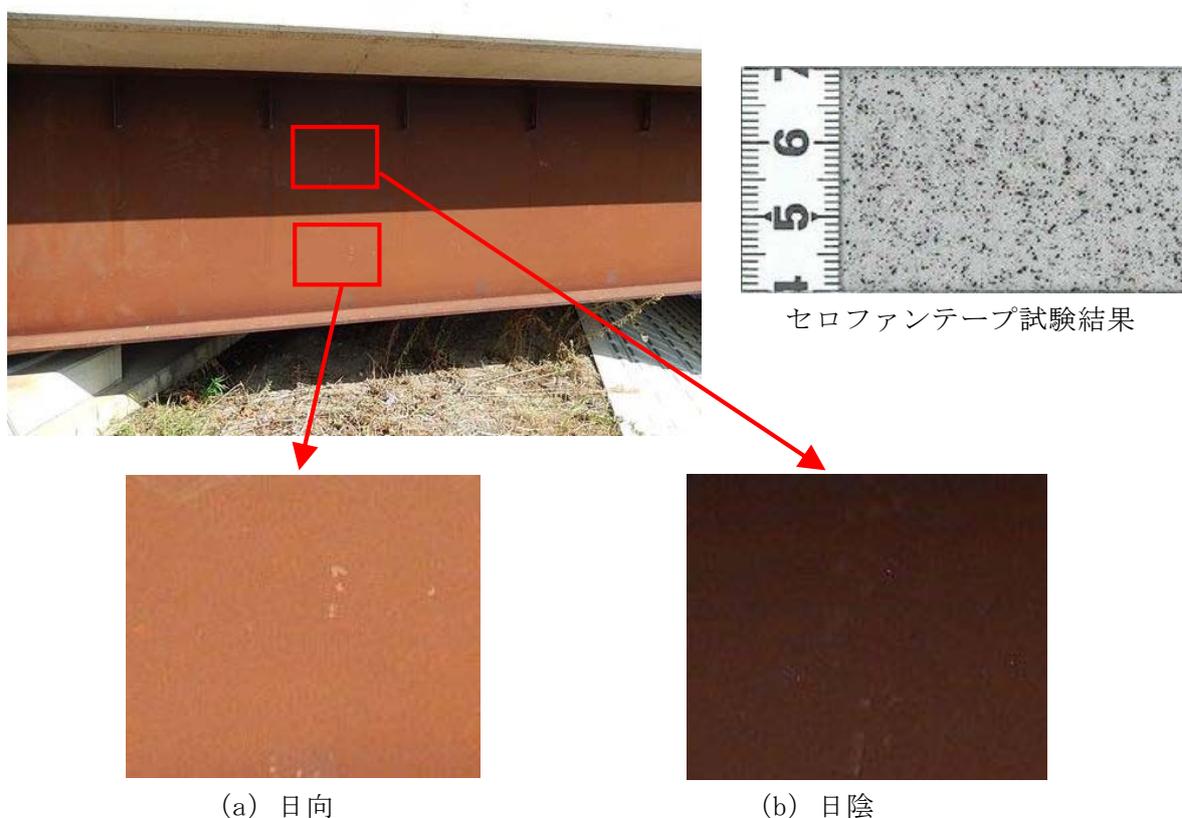


図-3.2 日照条件のちがいによるさびの色調の例

(日照の影響で、外観評点 4~5 とする可能性もあるが、実際は外観評点 5 相当のさび)

3.2 さびの外観性状の記録方法の検討

3.1 節で示した、現状の外観評点では把握することのできないさびの立体的形状と大きさ、および色調を正確に記録し、再現する方法を検討する。

(1) では、さびの立体的形状や大きさに着目したさびの記録方法として、カラーアナグリフ写真の検討を行う。(2) では、さびの色調に着目したさびの記録方法として、色調補正した近景写真の検討を行う。(3) では、さびの外観性状の調査において、(1) と (2) で検討した記録方法のほかに、併用して参考にすることが望ましい、従来から行われている電磁膜厚計によるさび厚の測定^{3.5),3.7)}、およびセロファンテープ試験による浮きさび等の採取^{3.5),3.7)}について示す。

(1) さびの立体的形状や大きさに着目した記録方法の検討（カラーアナグリフ写真の適用）

耐候性鋼橋の表面に生成されるさびの立体的形状と大きさを正確に記録するために、カラーアナグリフ写真を作成する。本研究におけるカラーアナグリフ写真の作成方法を以下に示す。

i) アナグリフ写真

アナグリフとして加工した写真や図形は、カラーフィルタのついた専用メガネを使って閲覧することで、立体視が可能となる。アナグリフには、色の表示方法のちがいがから、モノクロアナグリフとカラーアナグリフに分類される。正確な色調ではないものの、本研究ではカラーアナグリフ写真（図-3.3 参照）を作成する。カラーアナグリフ写真の作成フローを図-3.4 に示す。



図-3.3 カラーアナグリフ写真と専用メガネの例

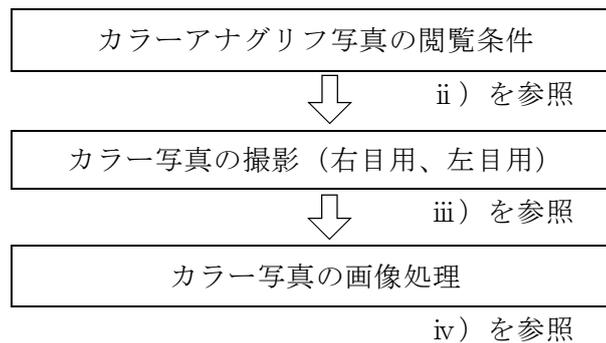


図-3.4 カラーアナグリフ写真の作成フロー

ii) カラーアナグリフ写真の閲覧条件

本研究で作成するカラーアナグリフ写真に関する閲覧条件を以下に示す。

- 閲覧距離（写真から両目までの距離）：300mm
- 閲覧向き：90°（正対）
- カラーアナグリフ写真の尺度：実物大



図-3.5 カラーアナグリフ写真の閲覧条件

iii) カラー写真の撮影（右目用、左目用）

[1] ターゲット

撮影対象物である耐候性鋼材の表面に、スケール付のスチールテープを付した窓内寸法 140mm×80mm となるターゲットを設置し、撮影時に同時に写し込む（図-3.6 参照）。

ターゲットの設置は以下の目的による。

- ・撮影範囲の明確化
- ・スチールテープの同時撮影による写真印刷時のスケールの明確化
- ・カラーアナグリフ写真作成時の修整補助

（左右 2 台のカメラにより撮影した 2 枚の写真の大きさ、傾き等の修整）

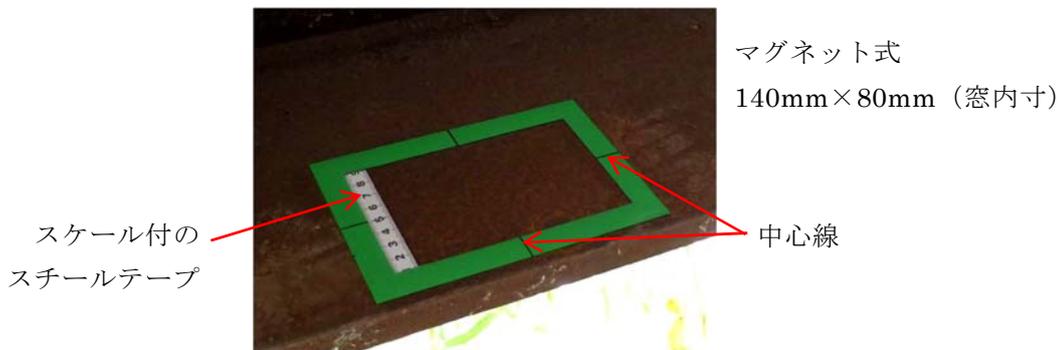


図-3.6 カラー写真撮影時に使用するターゲット

[2] カメラの配置

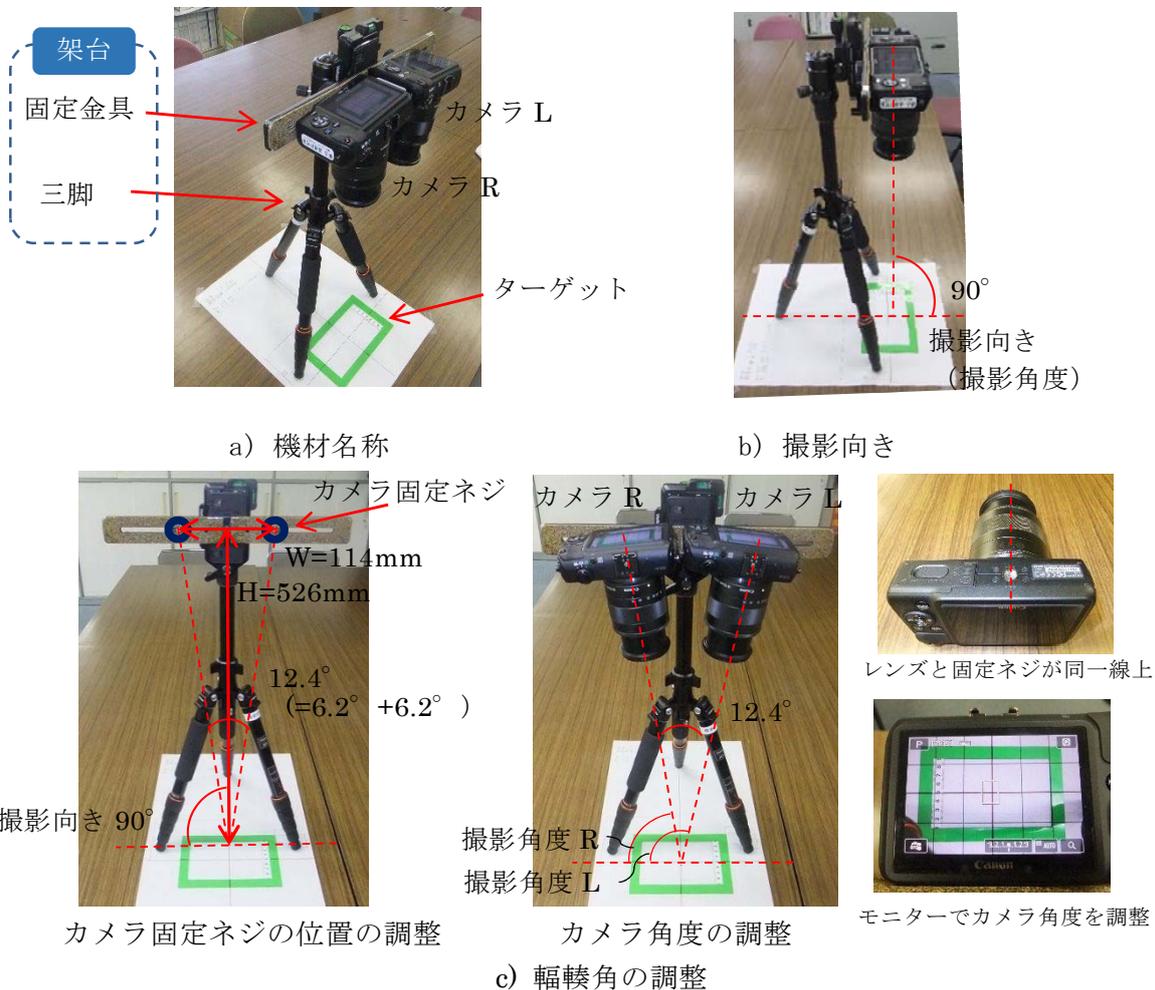
右目用と左目用の 2 枚の写真撮影のためにカメラは 2 台用意する。設定した閲覧条件（ii）参照）により、2 台のカメラの配置は以下のとおりとする。

- ・輻輳角：12.4°
- ・撮影向き：閲覧向きと同じ（90°、正対）

カメラの配置をスムーズに行うため、三脚および固定金具の組み合わせにより構成される架台を作成し、カメラ 2 台を固定する。

輻輳角の調整は、レンズとカメラの固定ネジが同一線上にあるカメラを使用する場合、次の手順によりカメラ固定位置の調整を行うことができる（図-3.7 参照）。

- 架台のカメラ固定ネジの位置を調整する。
- カメラを設置し、ターゲットの中心が撮影中心となるようにモニターを確認しながらカメラ角度を調整する。



本研究では、輻輳角：12.4°より、
カメラ固定位置は撮影距離：526mm
左右カメラの中心間距離：114mm

図-3.7 ターゲットとカメラの位置関係の例

現地での撮影時には、対象とする耐候性鋼材の表面にターゲットを貼り付け、ターゲットに対してカメラ（架台に設置済）を配置する。ターゲットの中心が左右のカメラのモニターの中心と一致していることを確認して、カメラ位置を確定する。

三脚等の架台を構成する機材のひずみや架台へのカメラの固定精度等の影響により、左右の写真の水平、垂直、ねじれ位置に誤差が含まれることがある。その場合は、2枚の写真の撮影後の画像処理により修整する。



図-3.8 耐候性鋼橋に対するカメラの配置状況の例

[3] 撮影条件

撮影条件を以下に示す。

- ・ズーム

ターゲットが写真からはみ出さない範囲で設定する。光学ズーム範囲の場合、撮影画素数を多くすることができ、かつ、望遠となることからレンズによるひずみを少なくすることができる。

- ・光源

フラッシュ撮影や直射日光は避け、別途照明を用意する。露出オーバーによる実態と乖離した色合いを避けることができる。

- ・画像の保存形式

一般的なカメラで対応可能な JPEG 方式とする。

- ・シャッター

撮影時の手ブレ防止や左右写真の同時撮影のため、リモコン撮影が望ましい。

- ・その他の設定

効率的な撮影を可能とするため、フォーカスモード、シャッター速度、絞り値、ISO 感度、ホワイトバランスは AUTO とする。

iv) カラー写真の画像処理

[1] 使用ソフト

カラーアナグリフ写真の作成のため、iii) により撮影した 2 枚のカラー写真（右目用、左目用）の修整および 2 枚の写真を合成する画像処理を行う。

本研究では「ステレオフォトメーカーVer.5.06」を画像処理ソフトとして使用する。

[2] 画像処理

iii) により撮影した 2 枚のカラー写真（右目用、左目用）を用いて画像処理を行う手順について図-3.9 に示す。

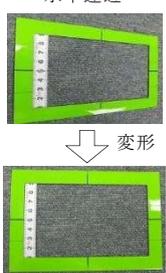
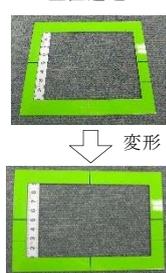
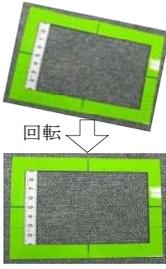
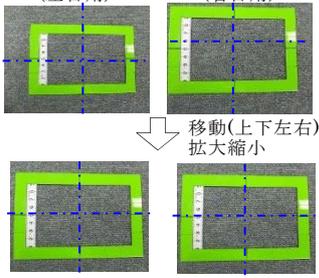
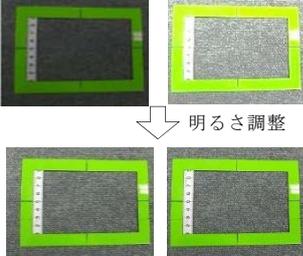
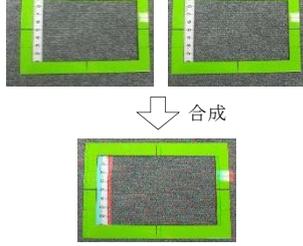
手順	内容	修整イメージ
①	遠近法によるひずみの修整 撮影対象物との撮影角度などが原因で生じる遠近法によるひずみを修整する。ターゲットの左右高さ、上下幅がそれぞれ同じになるように修整する。	修整イメージ 水平遠近  垂直遠近 
②	ねじれの修整 撮影対象物に対するカメラの設置誤差、個別のカメラが保有する個体固有誤差などによる画像のねじれを修整する。ターゲットの基準線が水平、垂直になるように修整する。	
③	左右画像のターゲットの中心位置および大きさの修整 設置誤差、個体固有誤差などによる左右ターゲット中心位置および画像の大きさを修整する。左右の画像のターゲット中心位置が一致するように、かつ窓内寸法が一致するように修整する。	(左目用) (右目用) 
⑤	明るさの調整 左右カメラの撮影角度のちがいによる受光程度の差、個体固有誤差などによる明るさを修整する。	(左目用) (右目用) 
⑥	カラーアナグリフ写真の作成（合成） 修整が完了した2枚の写真をカラーアナグリフ写真として合成する。	
⑦	画像の保存 画像の劣化が少ない tif 形式で保存する。	

図-3.9 画像処理の作業手順

[3]画像の貼り付け

tif形式で保存されたカラーアナグリフ写真を、画像の大きさが原寸大となるように資料に貼り付ける。写真内のスケールやターゲット窓内寸法を基準に大きさを調整する。ターゲットは、画像の大きさ調整後にトリミングを行うことで削除する。

v) 使用機材とカメラの設定

本研究のカラーアナグリフ写真の作成に使用した機器、およびカメラの設定を以下に示す。

[1]撮影機材

カメラ : Canon EOS M
レンズ : Canon EF-M18-55 F3.5-5.6 IS STM
フラッシュ : なし
三脚 : King fotopro X4i-E
固定金具 : LPL L13010 ストレートブラケット SB-280
クイックシュー : Velbon QRA-635LII

[2]カメラの設定 (撮影時統一条件)

焦点距離 : 55mm
記録形式・画質 : Jpeg、低圧縮
記録画素数 : L (5184×3456)
撮影モード : プログラム AE
フォーカスモード : AF
シャッター速度 : AUTO
絞り値 : AUTO
ISO感度 : AUTO (上限 3200)
ホワイトバランス : AUTO

[3]画像処理ソフト

: ステレオフォトメーカーVer.5.06

vi) カラーアナグリフ写真による調査に関する考察

図-3.1 に示したさびのカラーアナグリフ写真を図-3.10 に示す。カラーフィルタのついた専用メガネで見ると、さびの凹凸が再現されていることがわかる。さらに、保護性さびやコブ状のさびのカラーアナグリフ写真を図-3.11、図-3.12 にそれぞれ示す。これより、いずれのさびの凹凸も再現されていることが明らかである。さらに、異なる種類のさびを比較することで、相互のさびの凹凸のちがいが明確にわかる。以上より、耐候性鋼橋のさびの凹凸や大きさについて、カラーアナグリフ写真で再現できる可能性があることが示された。ただし、カラーアナグリフ写真は左右の色ちがいのカラーフィルタで閲覧することで凹凸を視覚的に把握する仕組みであることから、色調を正確に再現できないことに留意する必要がある。



図-3.10 図-3.1 で示した③-14 のうろこ状さびのカラーアナグリフ写真

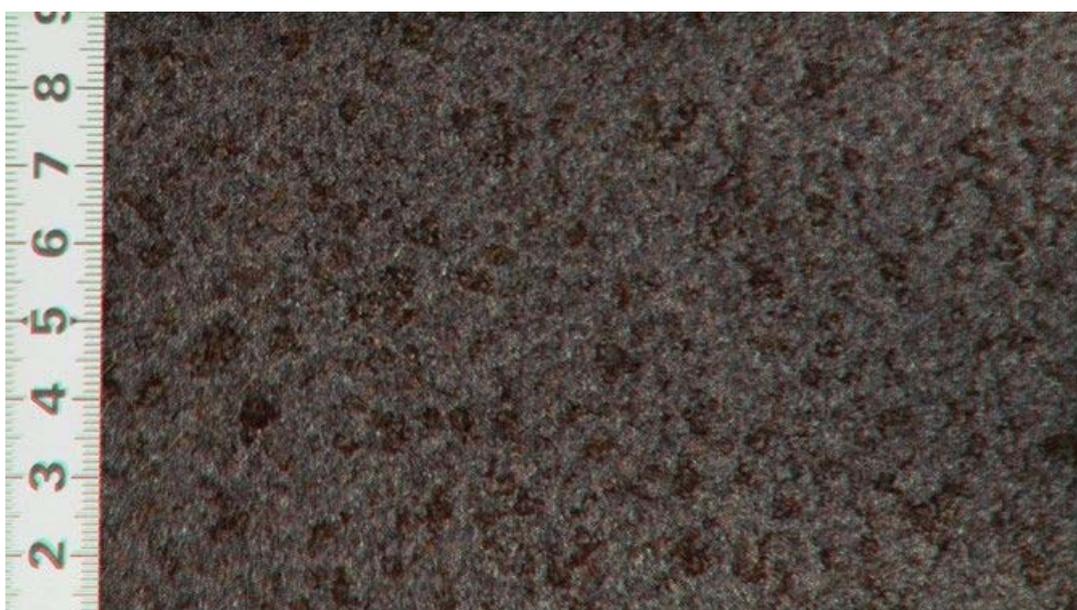


図-3.11 保護性さびのカラーアナグリフ写真の例

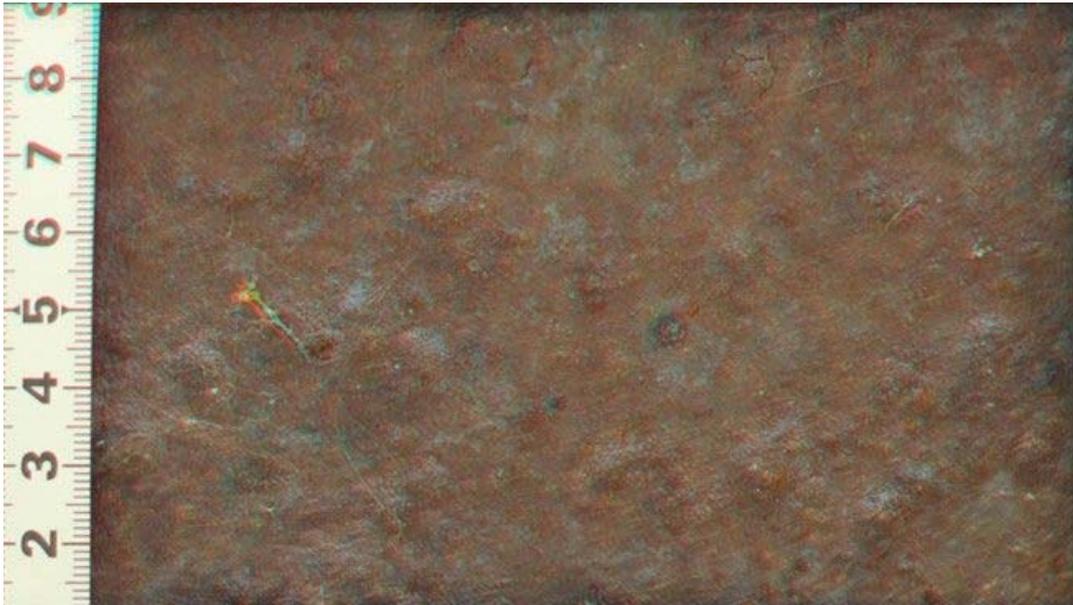


図-3.12 うろこ状さびのカラーアナグリフ写真の例

(2) さびの色調に着目した調査方法の検討（色調補正した近景写真の適用）

耐候性鋼橋の表面に生成されるさびの色調をできるだけ正確に表現するために、色調を調整した近景写真を作成する。本研究における近景写真は、図-3.13 に示す「Color Checker Passport (x-rite 社製)®」（以下、「カラーチャート」という）を使用して色調の調整をする。



左) クリエイティブ補正ターゲット
右) クラシックターゲット

図-3.13 使用したカラーチャート

i) 近景写真の撮影

近景写真の撮影は、iii) に示す撮影条件を統一して行う。

撮影は、カラーチャートを同時に写し込んだ色調調整用写真(写真 A)とカラーチャートが無いさび事例用写真(写真 B)の2枚撮影する。撮影の手順を図-3.14 に示す。

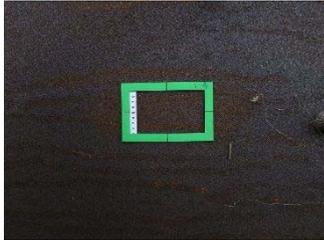
手順	内容	
①	<p>カラーチャートを含めた写真（写真 A）を撮影する。この時、撮影の向きは耐候性鋼材の表面に対して正対とする。桁内面など、自然光による光が無く、写真が暗い場合は照明を使用する。</p>	
②	<p>写真 A を撮影後、撮影したカラーチャートに白とびが生じていないことを確認し、白とびが生じている場合は、露出補正を行い、再度撮影する。なお、直射日光により白とびしている場合、日よけ等を実施する。</p>	<p>点滅表示確認箇所 ヒストグラムによる確認</p> 
③	<p>写真 A と同じ条件、同じ構図でカラーチャートが無い写真を撮影する（写真 B）。</p>	

図-3.14 近景写真の撮影手順

ii) 色調調整

撮影した 2 枚の写真（写真 A、写真 B）を用いて色調を調整した近景写真を作成する。色調補正は、写真 A によりカラープロファイルを作成し、写真 B にこのカラープロファイルを適用することにより行う。なお、本研究では、画像処理ソフトとして Adobe photoshop CS6（Adobe 社製）®（以下、Adobe photoshop®という）および ColorChecker Passport 付属ソフトを用いる。図-3.15 に色調調整の手順を示す。

手順	内容	
①	Adobe photoshop®を用いて写真 A (raw 形式) からホワイトバランスに関する写真内カラーチャートの基準色を抽出するため、「色温度」と「色かぶり補正」の値を確認し、拡張子を dng 形式に変換する。	 <p data-bbox="1075 450 1267 472">スポイト(色抽出箇所)</p>
②	ColorChecker Passport 付属ソフトを使用して①で変換した dng 形式の画像をプロファイリングする。これにより、色調調整用のカメラキャリブレーションファイルが作成される。	
③	Adobe photoshop®を用いて、写真 B に②のカメラキャリブレーションファイルを適用する。①で確認した「色温度」と「色かぶり補正」も適用する。	 <p data-bbox="1150 853 1310 875">(photoshop の例)</p> <p data-bbox="1123 902 1321 925">プロファイル選択画面</p>
④	③を tif 形式で保存する。	

図-3.15 近景写真の色調補正の作業手順

iii) 使用機材とカメラの設定

本研究の近景写真の作成に使用した機器、およびカメラの設定を以下に示す。

[1] 撮影機材

カラーチャート : x-rite ColorChecker Passport
 カメラ : Canon Power Shot S120
 照明 : Sony ビデオライト HVL-LE1 ※自然光では暗い場合に使用

[2] カメラの設定 (撮影時統一条件)

記録形式 : Jpeg+raw
 画質 : スーパーファイン
 記録画素数 : L(12M/4000×3000)
 撮影モード : P モード
 フォーカスモード : AF
 シャッター速度 : AUTO
 絞り値 : AUTO
 ISO 感度 : AUTO

ホワイトバランス : AUTO

[3] 画像処理ソフト

: Adobe photoshop CS6

x-rite ColorChecker 付属ソフト .5.06

iv) 色調補正した近景写真による調査に関する考察

図-3.2 で示したさびの色調補正した近景写真を図-3.16 に示す。図-3.2 と比較すると、日向は日照による反射が明るすぎて、実際のさびの色より薄く肌色のように見える。また、日陰は暗く褐色への変色が進行しているように見える。これらより、色調の補正を行わないとさびの色を正確に把握できないことがわかる。

他の耐候性鋼橋に生成したコブ状さびについて、色調補正した近景写真を図-3.17 に示す。本節で示した要領で作成した写真であるものの、図-3.16 と同じものを使用している緑色の枠の色が異なって見える。色調補正を行っても、完全に色を一致させるまでの精度を本研究で得ることはできていない。色調補正の精度を上げる場合は、撮影時の明るさを統一するなどのさらなる配慮が必要となる。

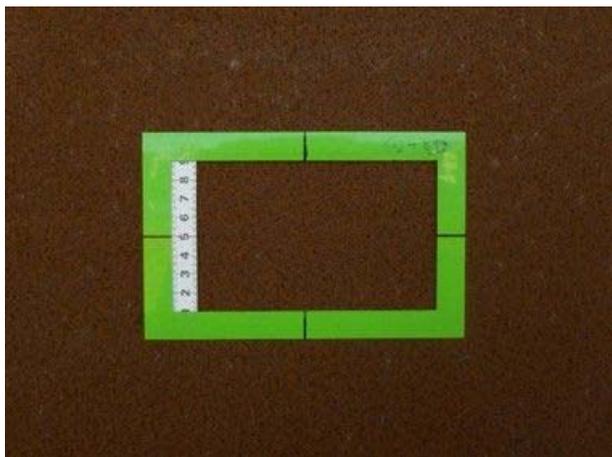


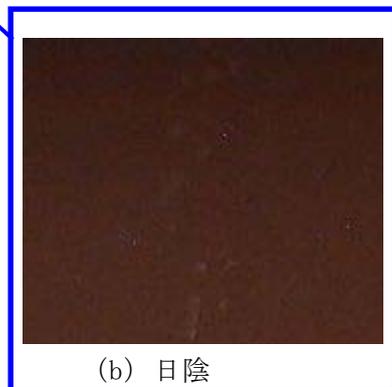
図-3.16 図-3.2 で示した(b)日影のさびの色調補正した近景写真



図-3.17 コブ状さびの色調補正した近景写真の例



(a) 日向



(b) 日陰

図-3.2 日照条件のちがいによるさびの色調の例 (再掲)

(日照の影響で、外観評点 4~5 とする可能性もあるが、実際は外観評点 5 相当のさび)

(3) さび厚測定およびセロファンテープ試験

i) さび厚測定 3.5),3.7)

さび厚測定は、対象箇所なさび厚を電磁膜厚計により 9 点測定し、その平均値と標準偏差を算出する。測定時の注意点を以下に示す。

- ・電磁膜厚計は、表面凹凸の影響を受け、その度合いはセンサー先端形状によって異なる。表面凹凸の影響を受けやすいセンサーの場合は、凸部にセンサー先端が当たるように留意する。
- ・耐候性鋼材の表面にほこりや異物の付着がある場合、刷毛等で軽く払い除去してから計測する。うろこ状さびや層状剥離さびの場合は、そのまま計測する。

本研究で使用した膜厚計：Kett 電磁膜厚計 LE-370

ii) セロファンテープ試験 3.5),3.7)

セロファンテープ試験は、市販のテープを耐候性鋼材の表面の汚れ等を落とすことなく貼り付け、浮きさび等を付着させて回収する。実施例を図-3.2 に示す。試験時の注意点を以下に示す。

- ・測定は 1 回を原則とするが、水平上面等で堆積した土埃等のみが採取された場合は、再度同じ位置で試験を行ってもよい。
- ・ゴムローラ等（指でもよい）を用いて均等に圧着あつせた後、セロファンテープをはがす。
- ・セロファンテープ試験により鋼板上に見られるさびの外観やさび厚が試験前後で変わる可能性があるため、カラーアナグリフ写真、近景写真、およびさび厚測定など各作業の最後にセロファンテープ試験を行う。

本研究で使用したテープ：PLUS パッキングテープ AT-050VP

3.3 まとめ

2 章に示した既往の耐候性鋼橋の表面性状の事例から、さびの的確な評価のためには、さびの平面形状のほか凹凸も考慮した立体的形状と大きさ、および色調も正確に把握する必要があることが明らかとなった。これに対して、正確な記録方法について検討し、以下のことが明らかとなった。

- ・接写したさびの写真でも、さびの種類によっては凹凸がわかりにくく、さびの立体的な形状や大きさを見誤る可能性があることから、さびの立体的形状や大きさに関する記録方法は統一する必要がある。
- ・さびの種類が同じであってもカメラの設定や光源（日照）の条件によって、色調にちがいが見られることから、さびの色調に関する記録方法は統一する必要がある。
- ・実際の調査から、写真撮影だけでなく、実際の橋を近接目視する場合でも、光源の影響によってさびの色調は異なって見える。
- ・さびの的確な評価のためには、さびの立体的形状や大きさ、および色調の正確な照合が重要である。
- ・カラーアナグリフ写真によって、さびの立体的形状や大きさを再現できる可能性がある。4 章でさび事例を収集し、その再現性を検証する。
- ・カラーチャートを用いて色調補正を行ったカラー写真によって、さびの色調を再現できる可能性がある。4 章でさび事例を収集し、その再現性を検証する。

3章参考文献

- 3.1) 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(XII) - 暴露試験片の写真集 - , 1989.12
- 3.2) 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(XVII) - 暴露試験片の写真集 2 - , 1993.3
- 3.3) 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(XX) - 無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(改訂案) - , 1993.3
- 3.4) (公社) 日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 2014.3
- 3.5) (社) 日本鋼構造協会: JSSC テクニカルレポート No.73, 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, 2006.10
- 3.6) (社) 日本鋼構造協会: JSSC テクニカルレポート No.86, 耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防安全, 2009.9
- 3.7) (一社) 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼橋梁の手引き, 2013.4