橋梁点検のデジタル画像を用いた耐候性鋼材の健全度評価の試み

茨城大学大学院　学生会員　○松村　翔
茨城大学工学部　正 会 員　原田 隆郎

1．はじめに

耐候性鋼橋梁の損傷度評価は，一般的に鋼材表面のさび粒子の形状・色調・粒子径，さび厚を規定した，さび健全度評価基準に基づき判定される[1]．**表 1** に耐候性鋼橋梁のさび外観評価指標を示す．そこで耐候性鋼橋梁の点検は，独自の点検が必要となり，点検者の熟練度を必要とする．さらに，さび粒子形状等の数値化の困難な指標においては，点検者ごとに個人差が生じるという課題もある[2),3)]．

そこで本研究では，点検時に入手した鋼材表面のデジタル画像より耐候性鋼橋梁の健全度評価を簡易に実施する手法について検討することを目的とする．これにより，健全度評価の自動化を図ることができ，点検の個人差の解消や点検業務の簡素化を実現することができる．

表 1　さび外観評価指標

状態/評点		正常			要観察	異常
		5	4	3	2	1
さび外観	形状	粒子状			うろこ状	板状
	最大粒径	1mm以下		1～5mm	5～25mm	25mm以上

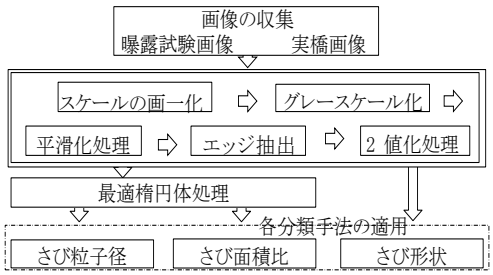
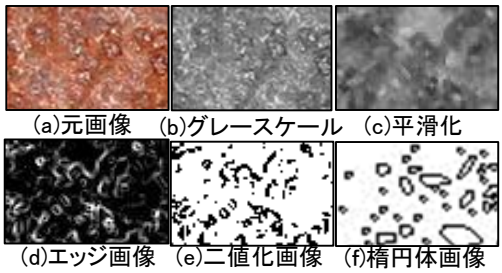


図 1　基本的な画像解析のフロー



(a)元画像　(b)グレースケール　(c)平滑化
(d)エッジ画像　(e)二値化画像　(f)楕円体画像

図 2　各種処理画像

2．橋梁点検画像を用いた健全度判別手法の提案

(1) 健全度判別手法の考え方

さび外観評価指標では，評点 3 までは正常と判断され，その閾値はさびの最大粒径とほぼ対応している．一方，評点 3 ではさび形状の粒子状とうろこ状の両方が混在しており，うろこ状のさびは評点 2 に進行する可能性のある健全度の判定上重要なポイントである．そこで本研究では，さびの最大粒径とさび面積比から評点 5～3 を判別するとともに，評点 3 についてはさび形状から健全度の進行性を考慮して評点 3A（正常の状態を保つさび）と評点 3B（要観察に移行する可能性のあるさび）に判別できる手法を提案する．なお，評点 2 以下は補修対象の評点ため判別の細分化は行わないこととした．

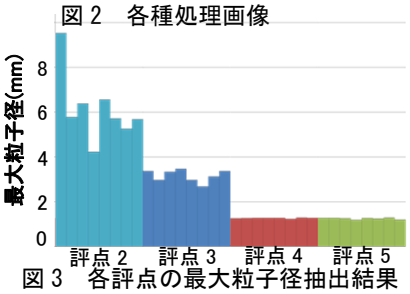


図 3　各評点の最大粒子径抽出結果

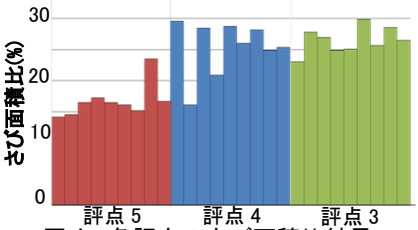


図 4　各評点のさび面積比結果

(2) デジタル画像の処理方法

本提案手法では**図 1** および**図 2** により，デジタル画像から評価画像を作成し，判別を行うこととした．なお，評価画像は実橋の耐候性鋼材表面の接写画像から作成されており，専門家によるさび外観評価が行われている．

(3) 提案手法の詳細（さび評点判別フローの提案）

まず，評点 5～3 の判別を行うためさび粒子径およびさび面積比による検討を行った．さび粒子径による判別では，さびの粒子径を正円として考え，その半径をさび粒子径とした．ここで，各評点（ここでは評点 2 も含む）の 8 枚の評価画像の最大さび粒子径の抽出結果を**図 3** に示す．これより，評点 5～4 と評点 3 の間には粒子径の差が明確に確認できた．また，さび面積比による判別では，評価画像においてさび粒子を黒色に着色し，画像全体における黒色部分の比をさび面積比と定義した．ここで，**図 4** にさび面積比の算出結果を示す．これより，評点が低下するにつれさび面積比は大きく算出されるとともに，評点 5 と評点 4 の間にはさび面積比の差が確認できた．以上のことから，デジタル画像から算出した最大さび粒子径とさび面積比を利用することで，さび外観評価の「正常」における評点 5～3 の分類が可能であることがわかった．

次に，評点 3 に判別された評価画像を評点 3A（正常の状態を保つさび）と評点 3B（要観察に移行する可能性の

キーワード：耐候性鋼橋梁，さび外観評価，定期点検，デジタル画像
連絡先：〒316-8511　日立市中成沢町 4-12-1　TEL：0294-5172　FAX：0294-38-5268

あるさび）に判別するため，本研究ではさび形状を階層型ニューラルネットワーク（以下，階層型 NN）によって分類する手法を適用した．階層型 NN では，中間層を有する 3 層構造のモデルを用い，画像の各ピクセルの値を入力層のパラメータ，さび評価点（評点 3A および 3B）を出力層とした．学習は誤差逆伝播法を用い，学習データには専門家の判定した評点 2 および評点 4 の画像を複数枚用いた．ここで，学習画像のパターン認識の正解率を**表 2** に示す．学習画像の正解率は全ての判別で 100%となった．一方，未学習画像の正解率は学習枚数ごとに異なる結果となったが，学習画像の枚数や学習回数を増加させることにより，汎化性能を向上することができることがわかった．

以上より本研究では，デジタル画像から算出される最大さび粒子径とさび面積比，そして階層型 NN を用いたさび形状のパターン認識手法を利用した健全度（さび評点）判別フローを提案した（**図 5**）．

表 2　さび形状による判別結果

学習枚数(枚)（評点2−評点4）	評点（判別枚数）	正解率（%）	評点（判別枚数）	正解率（%）
10（5−5）	4(5)	100	3A(20)	100
	2(5)	100	3C(20)	0
20（10−10）	4(10)0	100	3A(20)	10
	2(10)	100	3C(20)	85

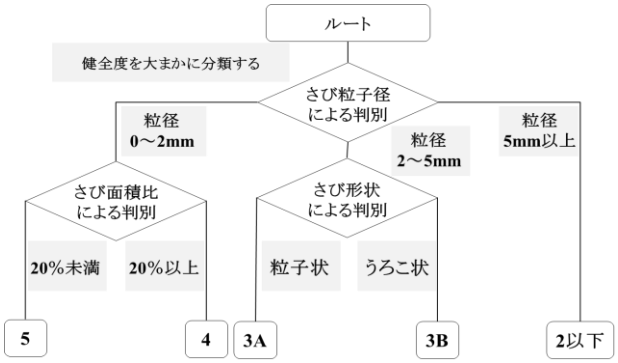
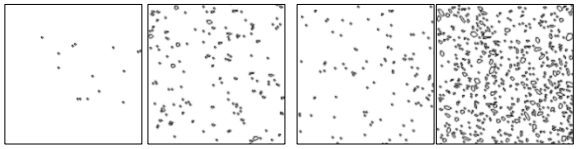


図 5　健全度（さび評点）判別フロー

表 3　各試験片のさび粒子径抽出結果

暴露期間/暴露地域	内陸部			沿岸部		
	1ヶ月	35ヶ月	45ヶ月	1ヶ月	35ヶ月	45ヶ月
粒子個数	196	1277	1391	2695	4781	5286
最小粒径(mm)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
最大粒径(mm)	0.75	1.01	1.48	1.00	1.98	2.90
平均粒径(mm)	0.26	0.34	0.35	0.28	0.43	0.48



(a)内陸部　(b)沿岸部

図 6　各試験片のさび粒子画像

3．耐候性鋼材曝露試験データによる提案手法の検証

提案手法の実用性を評価するため，耐候性鋼材の暴露試験データを用いた検証を行った．曝露地域は内陸部と沿岸部の 2 か所であり，暴露 1 ヶ月，35 ヶ月，45 ヶ月のさび生成状況のデジタル画像を利用した．撮影には 1610 万画素のデジタルカメラ（Canon IXY 420F）を利用した．耐候性鋼に対し撮影距離を等距離（30cm 程度）として，画像ごとの光度，画角をなるべく一定に撮影した画像を元画像とした．まず，各試験片のさび粒子径に関する検討を行った．抽出結果を**表 3** に，各試験片のさび粒子画像を**図 6** に示す．さび粒子径による判別では，内陸部と沿岸部の 1 ヵ月の試験片は最大粒径がそれぞれ 0.75mm と 1.0mm であり，これは提案した判別フローから評点 5〜4 と判断できる．また，沿岸部曝露 45 ヶ月のものは最大粒径が 2.9mm であり，判別フローの 2〜5mm となった．次に，暴露期間とさび面積比の関係を**図 7** に示す．さび粒子径の判別において評点 5〜4 と判定されたもの（内陸部：1 ヵ月〜45 ヵ月，沿岸部：1 ヵ月〜35 ヵ月）についてはさび面積比は 20%以下であったため，評点はすべて 5 と判別された．また，さび粒子径の判別において評点 3 と判定された沿岸部 45 ヶ月に対しては，階層型 NN によるさび形状による判別を行った結果，評点 3A と判別された．これは，専門家による判別結果とほぼ同様の結果（**表 4**）であり，沿岸部 45 か月の評点 4 についても，さびが進行するという点で妥当な判別ができていると考えられる．

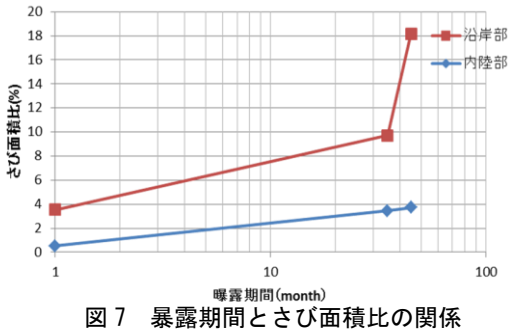


図 7　暴露期間とさび面積比の関係

表 4　専門家による判別と提案手法による判別の比較

	内陸部暴露			沿岸部暴露		
	1カ月	35カ月	45カ月	1カ月	35カ月	45カ月
専門家による判別	5	5	5	5	5	評点4に近い5
本評価手法による判別	5	5	5	5	5	3A

4．おわりに

本研究では，耐候性鋼材表面のデジタル画像を用いて簡易にさび評価を実施する手法について検討し，最大さび粒子径やさび面積比，さび形状を利用した判別フローを提案した．そして，耐候性鋼材の暴露試験におけるさび画像を用いて提案フローを検証した結果，目視によるさび外観評価と同等の評価が可能となり，点検の個人差の解消や点検業務の簡素化に有用である可能性を見いだした．

謝辞：本研究の実施に際して，日本橋梁建設協会にご協力いただきました．ここに深くお礼申し上げます．

参考文献：1)(社)日本橋梁建設協会技術委員会，維持補修委員会：防錆・防食特集－防錆・防食技術への取り組みーその 1，虹橋，62 号，pp.21-55，2000．2)(社)日本橋梁建設協会製作委員会：防錆・防食特集―防錆・防食技術への取り組み―その 2，虹橋，63 号， pp.20-69，2000．3)紀平寛，塩谷和彦，幸英昭，中山武典，竹村誠洋，渡辺祐一：耐候性鋼さび安定化評価技術の体系化，土木学会論文集，Vol.745，pp.77-87，2003．