

(1) 畳み込みニューラルネットワークによる 耐候性鋼材のさび外観評点判定モデルの 汎用性向上に関する検討

佐々木 輝音¹・原田 隆郎²

¹ 学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科博士前期課程
(〒316-8511 日立市中成沢町4丁目12-1)
E-mail: 22nm817t@vc.ibaraki.ac.jp

² 正会員 茨城大学教授 大学院理工学研究科 都市システム工学専攻
(〒316-8511 日立市中成沢町4丁目12-1)
E-mail: takao.harada.67413@vc.ibaraki.ac.jp

近年、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, 以下 CNN) を用いた耐候性鋼橋梁のさび外観評点の判定モデルが提案されており、実用化に向けた多くの研究が行われている。本研究では、学習データであるさび画像の多様化による判定モデルの汎用性向上を目標に、角度のついたさび画像を学習させた場合の CNN の精度検証を行い、点検者による様々な撮影条件のさび画像に対する、さび外観評点判定モデルの汎用性を検討した。その結果、様々な角度から撮影したさび画像を学習させておくかどうかで、構築したさび識別器の判定精度は大きく変わり、さび外観評点判定モデルの汎用性に影響を与えることが確認できた。

Key Words: weathering steel, convolutional neural network, rust condition rating, digital images, versatility

1. はじめに

近年、橋梁のライフサイクルコスト (LCC) 低減が期待できる耐候性鋼橋梁の適用が注目されており、1990年代後半から耐候性鋼橋梁が増加している¹⁾²⁾。耐候性鋼材は表面に緻密な保護性さびを形成し、腐食の進行を防ぐが、定期点検でさびの生成状況を確認する必要があり、この評価に外観評点法³⁾が利用されている。

外観評点法では点検者が目視で点検を行い、基準に従い評価を行う。しかしながら、点検者によって評価結果にばらつきが生じること、経験や知識の少ない点検者の場合は誤評価をしてしまう可能性があるなどの問題があるため、簡易かつ定量的な評価を行うことができる評価手法が求められており、簡易かつ定量的な評価手法として、画像処理を行うことでさび粒子や色調、特徴量などからさびを定量的に評価する研究が行われている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。また近年注目を集めている深層学習の一つであり、画像認識が得意であるディープラーニング、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, 以

下 CNN) を用いて、耐候性鋼橋梁のさびの画像から、さび外観評価を行う研究が行われている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

一方、CNN を学習させる教師データは、そのほとんどが耐候性鋼材の保護性さびを正面から撮影した画像を利用している。しかしながら、これらの画像を教師データとして学習されたシステムに、正面から撮影された画像以外を入力してさび外観評価点を判定させると、その判定精度は低下することが予想される。システムの実用化を想定すれば、管理者による定期点検において、保護性さびの正面撮影画像のみを収集できる訳ではなく、鋼材のさび生成状況を斜めから撮影した画像も多いが、これらの斜め画像が CNN の学習効果や判定精度に及ぼす影響を検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、実際の点検業務で利用するさびサンプル (3. 参照) を利用して、様々な角度から撮影されたさび画像を学習させた場合の CNN によるさび外観評価モデルを構築し、その精度検証を行った。そして、点検者による様々な撮影条件の画像に対する、さび外観評点判定モデルの汎用性について検討した。

＜耐候性鋼材のさび外観評点判定モデルによる評価の流れ＞

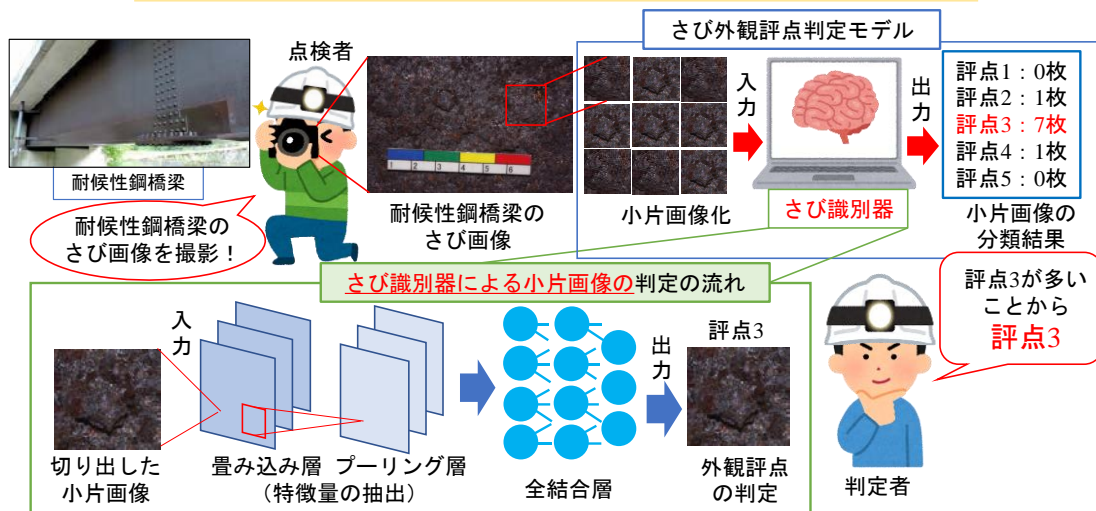


図-1 想定したさび外観評点判定モデルと構築したさび識別器

2. 本研究におけるさび外観評点判定モデルとさび識別器

一般的なさび外観評点判定のための CNN モデルは、鋼材面に対して垂直に撮影された画像データを利用して学習・構築されている。しかしながら、点検者が撮影したさび画像データは、必ずしも鋼材面に対して垂直に撮影された画像データばかりではない。つまり、正面から撮影された画像以外を入力してさび外観評点を判定させると、学習された情報以外の入力に対して判定しなければならないことから、さび外観評点の判定精度が落ちることが想定される。

そこで、本研究では図-1 のようなさび外観評点判定モデルを想定し、小片画像を判定するさび識別器を構築し、汎用性向上の検討を行った。さび識別器は、CNN にさび画像を学習させたもので、さび外観評点判定モデル内に組み込まれている。図-1 のように、小片画像のさび判定のために構築したさび識別器に、あらかじめ斜めから撮影したさび画像を学習させておくことで、点検時に正面からさび画像を撮影できなくても正しい外観評点が判定できるようになる。しかし、斜めから撮影したさび画像を学習させた場合のさび識別器の影響は不明であるため、本研究では複数のケースからその影響を検証する。

3. さびサンプルを使用したさび画像データの作成

本研究では様々な角度から撮影したさび画像が必要になるため、研究に使用するデータはすべて耐候性鋼材のさびサンプルを撮影した。さびサンプルとは、(一社)日本橋梁建設協会が開発・販売している評点 1~5 の耐

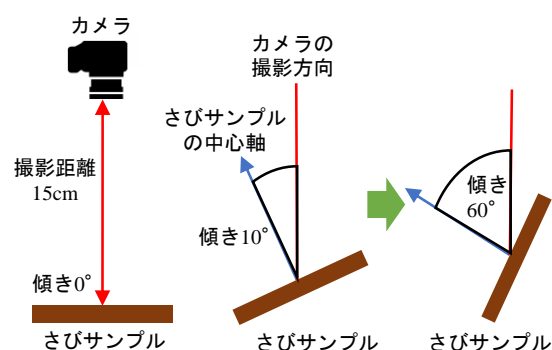


図-2 さびサンプル撮影時の撮影角度

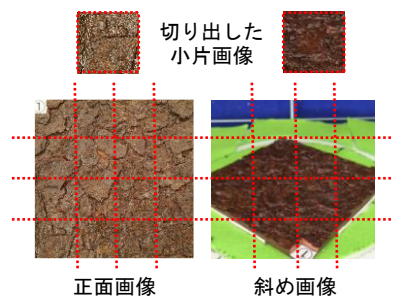


図-3 小片画像切り出しイメージ図

候性鋼材のさびの状態を再現した模型⁴⁾ (大きさ：100×100mm) である。

図-2 は撮影時のカメラとさびサンプルを真横から見たイメージ図である。撮影距離はサンプルの中心点から 15 cm とし、カメラの撮影方向とさびサンプルの中心軸がなす角を「傾き」と定義した。正面画像を傾き 0° とし、傾きは 0~60° まで 10° ごとに変化させた。また、傾きごとにさびサンプルを 10° 間隔で 360° 回転させて撮影した。つまり、1つの傾きで 36枚撮影することになる。撮影したさび画像は図-3 のように小片画像 (224×224 pixel) に切り出し、さび以外のものが写っている小片画像は除去した。

表-1 さび識別器と学習に使用するさび画像データの傾き

検証ケース	識別器 No.	さび画像データの傾き (°)
ケース 1 (特定の角度のみを学習)	1-0	0
	1-1	10
	1-2	20
	1-3	30
	1-4	40
	1-5	50
ケース 2 (複数の角度を学習)	2-1	0,10
	2-2	0,10,20
	2-3	0,10,20,30
	2-4	0,10,20,30,40
	2-5	0,10,20,30,40,50
	2-6	0,10,20,30,40,50,60
ケース 3 (特定の角度を複数学習)	3-1	0,20,40,60
	3-2	0,30,60
	3-3	10,20,30,40,50
	3-4	20,30,40

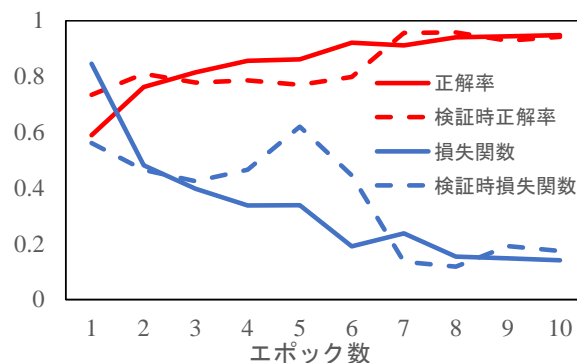


図-4 構築したさび識別器の学習結果の一例 (識別器 No.3-3 の場合)

イズは 8 とした。学習したモデルの評価は正解率 (Accuracy) と損失関数の値を使用した。

図-4 に一例として、本研究で構築したさび識別器 No.3-3 の学習結果を示す。紙面の関係でその他の識別器の学習結果は省略するが、どの識別器でも正解率は 1 に近づき、損失関数の値は 0 に近づいたため、学習は問題なく行えたことを確認できた。

4. さび外観評価の汎用性検討のためのさび識別器の構築

(1) さび識別器の学習ケース

本研究では、斜めから撮影されたさび画像がさび識別機にどのような影響を与えるのか検証するため、撮影角度の異なる複数のさび画像を用いてさび識別器を学習した。表-1 にさび識別器の No.と学習で使用するさび画像の傾きを示す。ケース 1 は特定の角度のみを学習したケースであり、一般的にはさび面に対して垂直の傾き 0° であるが、本研究では傾向分析が目的であるため、傾き 0° 以外の傾き角度でもさび識別器を学習させた。ケース 2 は複数の角度を学習したケースであり、傾き 0° を基準に、それ以外の角度を追加させて 6 ケースを設定した。そして、ケース 3 では傾き 0° のさび画像を含む場合と含まない場合の複数の異なる角度のさび画像データを用いた。

(2) さび識別器の学習条件と学習結果

CNN の学習および分類をする際の教師値は、さびサンプルの評点を使用した。CNN のフィニューニングに使用する既存モデルは、VGG16 を使用し、初期の重みは Image Net で学習したものを使用した。学習に使用する画像サイズは 224×224 pixel とし、画像はすべてグレースケール変換を行った。学習画像枚数は、どの識別器でも各評点 1000 枚、合計 5000 枚であり、複数の傾きを学習する場合は、各傾きから同枚数抽出し、偏りが生まれないようにした。学習の回数を表すエポック数は 10 回とし、重みの更新を行うデータ数を表すバッチサ

5. 構築したさび識別器によるさび外観評価の汎用性に関する検討

本研究では、構築したさび識別器による検証結果の違いによって汎用性向上の検討を行った。傾きごとにテストデータを各評点 4 枚、合計 20 枚用意し、構築したさび識別器に入力し、5 分類出力させた。つまり、傾き 0° のテストデータとしては各評点 4 枚で合計 20 枚のさび画像を用意し、その他の傾きのテストデータについても同様に 20 枚のさび画像を用意した。このテストデータを各識別器に入力し、20 枚のうち、さび識別器による出力とテストデータの評点が一致した割合を算出した。例えば、No.1-0 のさび識別器に傾き 10° のテストデータを入力した場合、20 枚中 15 枚が一致したため、割合は 75%となる。図-5 から図-7 にさび識別器の出力とさびサンプルの評点が一致した割合を示す。縦軸が識別器による 5 分類の出力と評点が一致した割合を示しており、横軸はテストデータの傾きを示している。

ケース 1 では特定の角度の画像のみを学習させたさび識別器に、それ以外の未学習の角度の画像を判定させた場合の精度を検証した。図-5 のケース 1 の結果である No.1-0 に注目すると、傾き 0° のテストデータが最も一致した割合が高い。しかし、未学習の傾きのテストデータに対しては、学習した傾きとテストデータの傾きの差が大きくなると一致した割合が低くなる。No.1-0 以外の識別器でも同様な傾向が見られる。

ケース 2 では複数の角度の画像を学習させた場合のさ

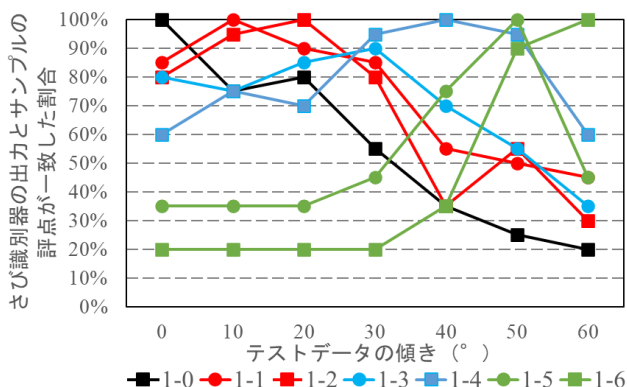


図-5 ケース1のさび識別器による出力とさびサンプルの評点が一致した割合

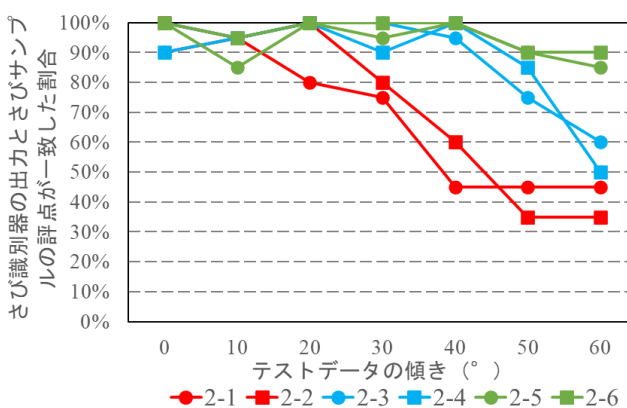


図-6 ケース2のさび識別器による出力とさびサンプルの評点が一致した割合

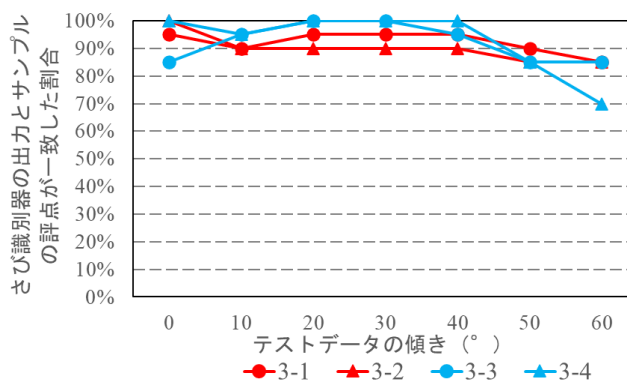


図-7 ケース3のさび識別器による出力とさびサンプルの評点が一致した割合

び識別器への影響を検証した。図-6のケース2の結果であるNo.2-6に注目すると、学習した傾きのテストデータに対しては、一致した割合が高くなっており、これはNo.2-6以外でも同様な傾向が見られる。すなわち、角度の異なるさび画像を複数学習させても正しい判定が出来ていることが分かる。

ケース3では、特定の角度の画像を複数学習させたさび識別器が、それ以外の未学習の傾きのさび画像を判定させた場合の精度を検証した。図-7のケース3の結果であるNo.3-2に注目すると、未学習のさび画像である傾き

10° や20° のテストデータに対しても一致した割合が高くなっている。ほかの識別器でも同様な傾向が見られ、ある程度の角度の画像を学習させることで、未学習の角度の画像に対しても精度がある程度は保たれることが分かる。

6. おわりに

本研究では、様々な角度のさび画像データを用いて学習させたさび識別器を複数構築し、さび外観評点判定モデルにおけるさび識別器の汎用性について検討した。その結果、小片画像のさび判定のために構築したさび識別器に、あらかじめ様々な角度のさび画像を学習しておくことで、点検時に必ずしも正面からさび画像を撮影できなくても正しい外観評点が判定できることが確認できた。

参考文献

- 1) 藤野陽三 他：鋼橋の防食設計とLCC評価（その1）、橋梁と基礎、Vol.38, No.1, pp.51-60, 2004.
- 2) (一社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼橋梁の実績資料集第25版、<https://www.jasbc.or.jp/technique/files/jisseki18_001.pdf>、(アクセス 2022.5.23)。
- 3) (公社)日本道路協会：鋼道路橋防食便覧 第三編、pp.47-67, 2014.
- 4) 河村圭 他：画像処理とニューラルネットワークを利用した耐候性鋼材のさび外観評価、第24回ファジシステムシンポジウム、TB4-1, pp.472-477, 2008.
- 5) 森田千尋 他：セロファンテープ試験の画像解析による耐候性鋼材のさびの外観評価、構造工学論文集、Vol.61A, pp.429-438, 2015.
- 6) 杉田尚男 他：画像処理による耐候性鋼材のさび外観評価レベルの判別方法に関する研究、八戸工業高等専門学校紀要、第45号、pp.55-60, 2010.
- 7) 堀内寛平、原田隆郎：ディープラーニングを用いた耐候性鋼材のさび外観評価に関する研究、第47回土木会関東支部技術発表会、IV-39, 2020.
- 8) 高田耕平、北原武嗣：深層学習を用いた耐候性鋼橋梁のさび外観評点判定システム、AI・データサイエンス論文集、1巻J1号、pp.359-364, 2020.
- 9) 田井政行 他：耐候性鋼板のさび外観評点識別精度に及ぼすCNNモデルと画像サイズの影響、AI・データサイエンス論文集、2巻J2号、pp.378-385, 2021.
- 10) 一般社団法人日本橋梁建設協会：さびサンプル、<<https://www.jasbc.or.jp/sabi/sample.html>>、(アクセス 2022.1.13)。