

耐候性鋼表面の腐食評価の客観的定量化に関する研究

建設構造研究室 野添 裕輔

指導教官 岩崎 英治

1. はじめに

近年、LCC縮減の観点から緻密な保護性さび層の形成により無塗装で使用することができる耐候性鋼材が注目されている。耐候性鋼材は、メンテナンスフリーという誤解を一部に招いているが、適切な使用方法と適切な維持管理により優れた性能を発揮するものである。耐候性鋼橋梁は保護性さびが形成すると、以降、腐食環境に大きな変化がない限り、最低限のメンテナンスにより機能を維持できる。しかし、保護性さびが形成されるまでは、腐食状況を把握するために、定期的な点検が必要である。

耐候性鋼橋の維持管理において、さび状態の評価因子としてさび粒子の大きさや色調がよく用いられ、その代表的なものとして目視によるさび外観評価がある(図-1)。これは、鋼材表面のさび粒子の大きさ、さびの色調などを目視により腐食状態を評価する方法で、実用的で簡便であることから、現在一般的に用いられている。しかし、目視でさびの状態を評価するため、客観的に判断することは経験を積んだ技術者でなければ容易ではなく、また調査毎のばらつきや評価者の主観により左右されてしまうといった問題点がある。

本研究ではさび外観評価法の客観性の向上を目指し、さびの状態の評価基準として用いられるさび粒子の色調や大きさなどの現地調査結果を利用し、客観的な外観評価レベル推定手法を検討するものである。

2. 調査概要

新潟県内の既設耐候性鋼橋のうち10橋を対象橋梁として選定し、セロハンテープ試験、さび厚計測、測色調査を行った。対象橋梁の所在を図-2に示す。

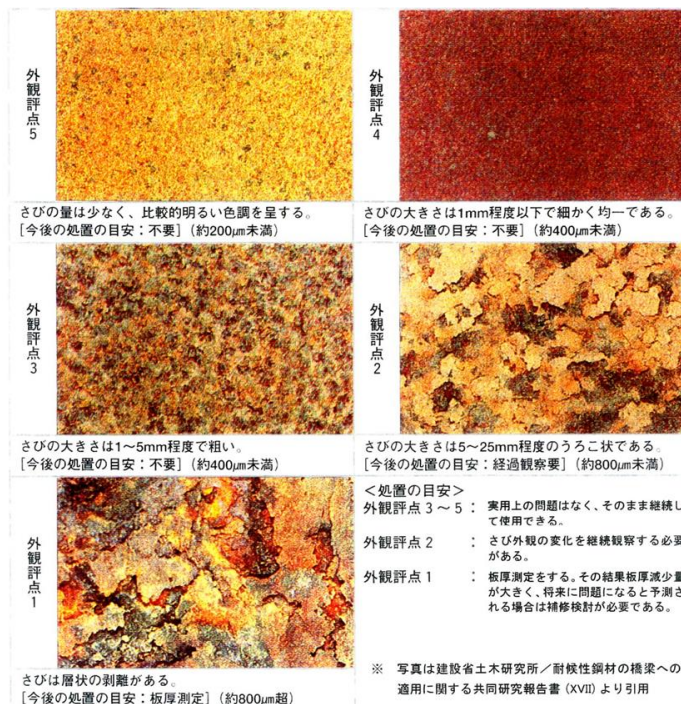


図-1 さび外観評価¹⁾

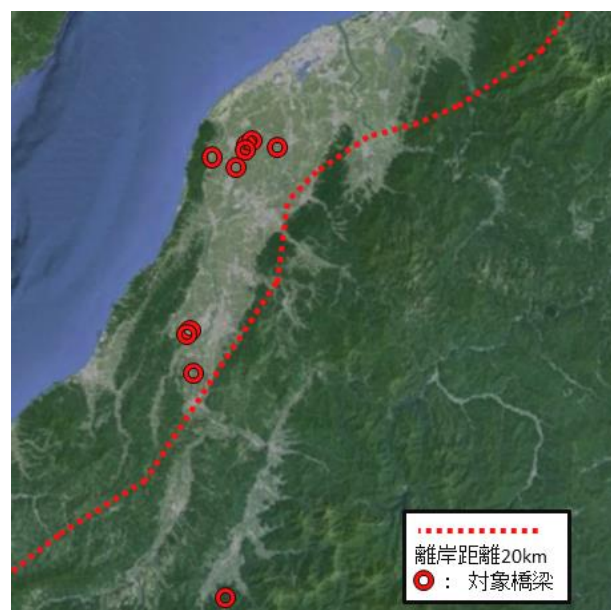


図-2 調査対象橋梁の所在

調査対象橋梁における計測部位は桁端部から 2～5m 離れた断面で、上フランジ下面、ウェブ上、中、下部、下フランジ上下面の 6 箇所とした (図-3)。各調査の詳細を下記に示す。

① さび厚計測

電磁式デジタル膜厚計を利用し、さび厚の計測を実施した。

② セロハンテープ試験

セロハンテープ試験後の画像処理 (図-4) によって得られた個々のさび粒子の粒径から、さび粒子の平均粒径、さび面積率、ばらつきを定義し、図-5 を基に数値化を行った。

③ 測色調査

色調 (色相、彩度、輝度) の数値化を行うことを目的とし、鋼材表面の接写撮影を実施した。

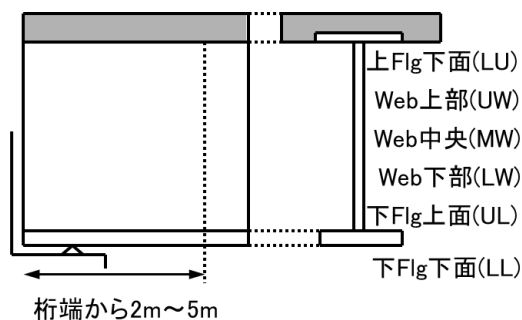


図-3 橋梁の計測部位

3. 外観評価レベルの推定手法の検討

本研究では、評価者・調査毎のばらつきや主観に左右されない客観的な外観評価レベル推定手法として、ニューラルネットワークを用いることとした。

ニューラルネットワークに用いる入力データは現地調査より得られた結果を使用し、入力パラメータの組み合わせによる精度の違いを検討するため、表-1 に示す 6 ケースでの検討を行った。

表-1 入力パラメータの組み合わせ

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Case-1	平均粒径	さび面積率	ばらつき	さび厚	色相	彩度	輝度
Case-2	平均粒径	さび面積率	ばらつき	色相	彩度	輝度	
Case-3	平均粒径	さび面積率	ばらつき	さび厚			
Case-4	平均粒径	さび面積率	ばらつき				
Case-5	色相	彩度	輝度	さび厚			
Case-6	色相	彩度	輝度				

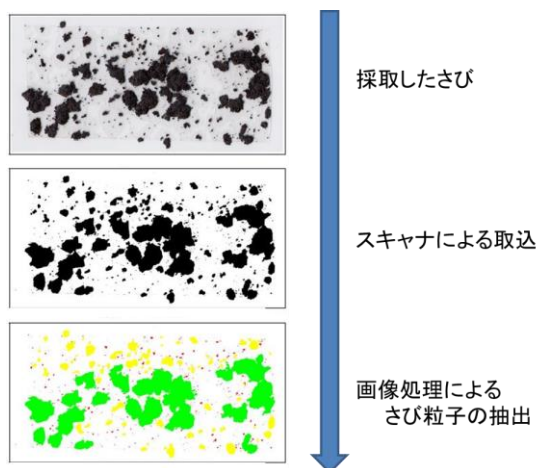


図-4 セロハンテープ試験の画像処理の流れ

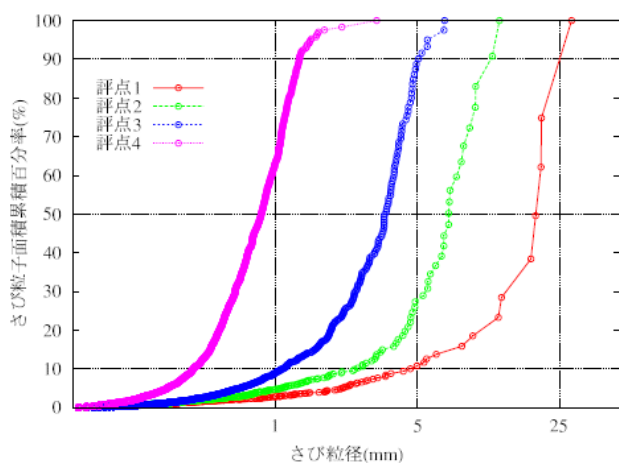


図-5 さび粒子面積累積曲線

a) 環境の近い学習データを用いた場合の推定検討

対象橋梁 10 橋の左岸側 297 箇所を学習データとして、右岸側 302 箇所の外観評価レベルの推定を行った。推定結果、各評価レベルの誤差の分配先をそれぞれ表-2、表-3 に示す。さび厚を入力パラメータに加えても精度は上昇することはなく、下降してしまうケースが多い。しかし、Case-5 と Case-6 以外のケースにおいて、高い精度を得ることができた。特に Case-2 では補修の検討が必要である外観評価レベル 1 を推定することができ、層状剥離さびに進展する可能性があり、維持管理を行っていく上で注意する必要があるさび状態である外観評価レベル 2 をある程度推定することができた。また、表-3 において Case-6 は外観評価レベル 1 や 2、4 の多数を外観評価レベル 3 と推定しており、外観評価レベル 2 の推定において、1 箇所も推定することができていない。よって、外観評価レベルの推定に測色調査のみの入力パラメータ

を用いることは適さないと考えられる。表-3 に示すように外観評価レベル 2 や 4 の場合、過大または過小評価して外観評価レベル 3 付近の推定値になっている箇所が誤差全体の 7~8 割を占めている。この原因として、学習データ中に外観評価レベル 3 のデータが多いためと考えられる。

表-2 右岸側の推定結果

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
レベル1の推定	0/1	1/1	1/1	0/1	0/1	0/1
精度(%)	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
レベル2の推定	15/37	26/37	17/37	23/37	6/37	0/37
精度(%)	40.5	70.3	45.9	62.2	16.2	0.0
レベル3の推定	173/197	174/197	176/197	178/197	167/197	192/197
精度(%)	87.8	88.3	89.3	90.4	84.8	97.5
レベル4の推定	23/67	19/67	23/67	16/67	11/67	10/67
精度(%)	34.3	28.4	34.3	23.4	16.4	14.9

表-3 右岸側推定での各外観評価レベルの誤差の分布先

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
レベル1の推定	1→2	1	0	1	0	0
	1→3	0	0	0	1	1
レベル2の推定	2→1	1	0	1	0	0
	2→3	20	10	19	14	31
	2→4	1	1	0	0	0
レベル3の推定	3→1	0	0	0	0	0
	3→2	4	9	2	5	13
	3→4	20	14	19	14	17
レベル4の推定	4→1	0	0	0	0	0
	4→2	0	0	0	2	0
	4→3	44	48	44	51	54
合計		91	82	85	85	118

b) 評点毎の学習データ数を揃えた場合の推定検討

対象橋梁 10 橋のうち M1 橋以外の 9 橋 551 箇所を学習データとした場合と、外観評価レベルのバランスを整えた 210 箇所を学習データとした場合について M1 橋 48 箇所の推定を行った。推定結果を表-4 に示す。

表-4 M1 橋の推定結果

	Case-1.1	Case-2.1	Case-3.1	Case-4.1	Case-5.1	Case-6.1
551箇所 の学習 データ	レベル2 の推定	4/7	7/7	0/7	5/7	3/7
	精度(%)	57.1	100.0	0.0	71.4	42.9
	レベル3 の推定	33/33	32/33	30/33	33/33	26/33
	精度(%)	100.0	97.0	90.9	100.0	78.8
	レベル4 の推定	0/8	0/8	4/8	0/8	0/8
	精度(%)	0.0	0.0	50.0	0.0	12.5
	Case-1.2	Case-2.2	Case-3.2	Case-4.2	Case-5.2	Case-6.2
210箇所 の学習 データ	レベル2 の推定	3/7	4/7	5/7	5/7	3/7
	精度(%)	42.9	57.1	71.4	71.4	42.9
	レベル3 の推定	21/33	31/33	28/33	29/33	26/33
	精度(%)	63.6	93.9	84.9	87.9	78.8
	レベル4 の推定	7/8	4/8	4/8	5/8	1/8
	精度(%)	87.5	50.0	50.0	62.5	25.0

551 箇所の学習データと外観評価レベルのバランスを整えた 210 箇所の学習データの推定結果を比較すると、特に Case-2.1 と Case-2.2, Case-4.1 と Case-4.2 で非常に高い精度を得ることができた。しかし、551 箇所の学習データでは推定値が外観評価レベル 3 に偏っている傾向が見られた。また、ケースによって各外観評価レベルの推定に大きな差異が見られ、外観評価レベル 2 や 4 の推定が 0% の箇所が見られた。一方、外観評価レベルのバランスを整えた 210 箇所の学習データでは、偏りなく推定することができた。しかし、学習データ中の外観評価レベル 3, 4 が多数存在していたため、選択の仕方によって精度が変化する可能性があると考えられる。そこで、210 箇所の学習データを各レベル 35 箇所ずつに分けた計 105 箇所の学習データを 2 組用いて M1 橋の推定を行い、比較を行った。推定結果を表-5 に示す。

表-5 M1 橋での 2 組の学習データによる比較

	Case-1.1	Case-2.1	Case-3.1	Case-4.1	Case-5.1	Case-6.1
105箇所 の学習 データ(1)	レベル2 の推定	7/7	7/7	6/7	6/7	7/7
	精度(%)	100.0	100.0	85.7	71.4	100.0
	レベル3 の推定	29/33	29/33	24/33	23/33	23/33
	精度(%)	87.9	87.9	72.7	69.7	69.7
	レベル4 の推定	5/8	4/8	8/8	8/8	0/8
	精度(%)	62.5	50.0	100.0	100.0	0.0
	Case-1.2	Case-2.2	Case-3.2	Case-4.2	Case-5.2	Case-6.2
105箇所 の学習 データ(2)	レベル2 の推定	4/7	7/7	2/7	4/7	2/7
	精度(%)	57.1	100.0	28.6	57.1	28.6
	レベル3 の推定	23/33	23/33	28/33	30/33	23/33
	精度(%)	69.7	69.7	84.9	90.9	69.7
	レベル4 の推定	4/8	4/8	0/8	2/8	4/8
	精度(%)	50.0	50.0	0.0	25.0	50.0

学習データ(1)は、学習データ(2)より高い精度となった。この原因として学習データに含まれている計測部位の内訳が関係していると考えられる。学習データの内訳を表-6 に示す。

表-6 学習データの内訳

	LU	UW	MW	LW	UL	LL
学習データ(1)	8	8	17	19	20	33
学習データ(2)	14	15	22	21	16	17

学習データ(1)では LU, UW, MW の部位数が少なく LW, UL, LL の部位数が多い。学習データ(2)では各部位数に大きな差異は見られない。このことから、部位による影響があると考えられる。そこで、表-6 の LU, UW, MW と LW, UL, LL を学習データとし、M1 橋の推定を行った。推定結果を表-7 に示す。

LU, UW, MW の部位は精度が低く, LW, UL, LL の部位では精度が高いことが確認できた. このことから, 腐食の厳しい桁下側の部位を学習データ, 入力データとして用いた場合の高い精度を得ることが出来ると考えられる.

表-7 M1 橋での部位別推定結果

		Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
MW,UW,L U箇所の 学習データ	レベル2 の推定	一致箇所数 0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
		精度(%) 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	レベル3 の推定	一致箇所数 4/18	6/18	16/18	18/18	12/18	12/18
		精度(%) 22.2	33.3	88.9	100.0	66.7	66.7
	レベル4 の推定	一致箇所数 1/6	2/6	0/6	0/6	1/6	2/6
		精度(%) 16.7	33.3	0.0	0.0	16.7	33.3
LL,ULLW 箇所の学 習データ	レベル2 の推定	一致箇所数 6/7	7/7	7/7	7/7	2/7	6/7
		精度(%) 85.7	100.0	100.0	100.0	28.6	85.7
	レベル3 の推定	一致箇所数 12/15	13/15	12/15	12/15	11/15	8/15
		精度(%) 80.0	86.7	80.0	80.0	73.3	53.3
	レベル4 の推定	一致箇所数 0/2	2/2	2/2	2/2	0/2	0/2
		精度(%) 0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0

c) 推定の妥当性の検討

これまでの検討結果を基に, M1 橋以外の他の橋梁の外観評価レベルを推定することが出来るか検討を行うため, 対象橋梁から新たに A1 橋, S1 橋を選定し, 推定を行った. 学習データは対象橋梁のデータを除外し, 各レベルの学習データを 25 個ずつ, 計 75 個を用いた. 推定結果を表-8 に示す.

表-8 各橋梁の推定結果

		M1橋	A1橋	S1橋
レベル2の 推定	一致箇所数	7/7	0/0	4/4
	精度(%)	100.0	—	100.0
レベル3の 推定	一致箇所数	13/15	12/13	6/20
	精度(%)	86.7	92.3	30.0
レベル4の 推定	一致箇所数	2/2	11/11	0/0
	精度(%)	100.0	100.0	—

M1 橋, A1 橋においては, 非常に高い推定精度を得られた. 一方で, S1 橋は外観評価レベル 3 の推定精度は低い, 維持管理上注意する必要のあるさび状態である外観評価レベル 2 の推定精度が高い結果となった.

各外観評価レベルの誤差の分布先(表-9)に着目すると S1 橋の外観評価レベル 3 の誤差の分配先はレベル 2 となっており, さび状態を厳しく推定していることから, 安全側の評価であるといえる. このことから, 全体の推定精度を観るだけでなく, 誤差の分布先も含めた検討が必要であると考えられる.

表-9 各橋梁の外観評価レベルの誤差の分布先

		M1橋	A1橋	S1橋
レベル2の 推定	2→1	0	0	0
	2→3	0	0	0
	2→4	0	0	0
レベル3の 推定	3→1	0	0	0
	3→2	0	0	6
	3→4	2	1	8
レベル4の 推定	4→1	0	0	0
	4→2	0	0	0
	4→3	0	0	0
合計		2	1	14

4. 結論

本研究では新潟県内の既設耐候性鋼橋のさび厚計測, セロハンテープ試験, 測色調査の現地調査により, さび外観評価基準の評価因子の定量化を行い, それらを入力パラメータとしニューラルネットワークを利用してさび外観評価の客観的定量化について検討を行った. 以下に得られた結果を述べる.

- 1) 測色調査の入力パラメータだけで外観評価レベル 1 や 2 を推定することはできない. また, さび厚も外観評価レベルの推定には適さないことが確認できた.
- 2) セロハンテープ試験の入力パラメータを用いたケースで推定を行った場合高い精度を得ることが確認できた.
- 3) 外観評価レベルのバランスを整えた場合, 各部位の学習データ数によって精度が異なることが確認できた.
- 4) 腐食の厳しい桁下側の部位を学習データ, 入力データとして用いた場合, 高い精度を得ることが確認できた.
- 5) 複数の橋梁の推定を行った結果, 全体の推定精度だけでなく, 誤差の分布先を含めた検討が必要ではないかと考えられる.

今後の課題として, 学習データとして使用するデータの精度向上, 入力パラメータ取得方法の簡易化の検討を行う必要があると考えられる.

参考文献

- 1) 日本鉄鋼連盟, 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼の橋梁への適用(解説書), 2002.9