

耐候性鋼橋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 大谷 啓誠

指導教官 岩崎 英治

長井 正嗣

1. 背景

耐候性鋼材とは普通鋼材に微量の銅，クロム，ニッケル，モリブデン，リンなどの添加元素を加え合金化したものであり，大気環境下で鋼材表面に保護性さび層と呼ばれる緻密で密着性に優れたさび層が形成される．その保護性さび層により水や酸素の透過を防ぎ，その後の鋼材の腐食作用を抑制する働きをもち，無塗装で使用する事が可能である．そのため，鋼材のライフサイクルコスト（LCC）の低減につながる．

耐候性鋼橋はメンテナンスフリーである認識が強いが，緻密で密着性に優れた保護性さびの生成は，周辺環境の影響を受けやすく，架設後も点検・調査などの適切な維持管理が必要である．

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さび外観評価法がある．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．

2. 目的

本研究では新潟県内の既設耐候性鋼橋のさび厚量計測，セロテープ試験，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

量化について調べ，今後の維持管理の一助とするものである．

3. 調査概要

新潟県内の既設耐候性鋼橋のうち，さび厚量計測，セロテープ試験，測色調査の全ての調査を行った 印の 10 橋を対象橋梁とし図 1 に示す．

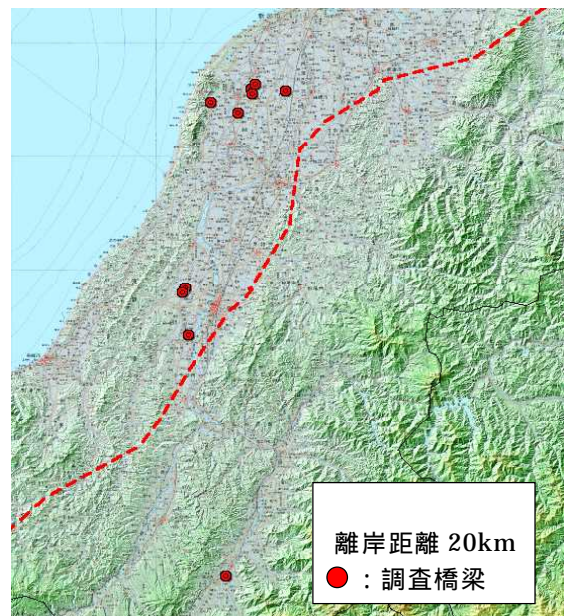


図 1 調査対象橋梁

また，全ての調査において計測部位は桁端部から 2～5m 離れた断面で，上フランジ上面，ウェブ上，中，下部，下フランジ上下面の 6 箇所とした．

さび厚量計測

電磁式デジタル膜厚計を利用しさび厚量を計測した．

セロテープ試験

さび粒子の大きさや量を数値化することを目的とした．

測色調査

色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。

4. 外観評価レベルの推定手法の提案

評価者・調査毎のばらつき、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た手法を提案する。

本研究の現地調査より得られた調査結果を入力パラメータとして、表 1 に示す 6 ケースについて全 10 橋の A 端側 297 箇所を学習データとし、B 端側 302 箇所の外観評価レベルの推定、また、M1 橋以外の 551 箇所を学習データとして M1 橋の 48 箇所の推定と M1 橋以外で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て M1 橋の 48 箇所の推定を行った。

B 端側の推定

B 端側の推定結果を表 2 に示す。さび厚量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かった。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

修が必要と示す外観評価レベル 1 を推定することができ、層状はくり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、Case-6 では外観評価レベル 1 や 2、4 のほとんどが外観評価レベル 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いえる。

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。これは、学習データに外観評価レベル 3 のデータが多いと考えられる。

M1 橋の推定

M1 橋の推定結果を表 4 に示す。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べると、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

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	さび厚量	明度	彩度	色相角度
case-2	平均粒径	さび面積率	ばらつき	明度	彩度	色相角度	
case-3	平均粒径	さび面積率	ばらつき	さび厚量			
case-4	平均粒径	さび面積率	ばらつき				
case-5	明度	彩度	色相角度	さび厚量			
case-6	明度	彩度	色相角度				

表 2 B 端側の推定結果

		Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6
レベル1 の推定	一致箇所数	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	一致箇所数	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	一致箇所数	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	一致箇所数	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 B 端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	0	1	0	0
	1 3	0	0	0	0	1	1
レベル2の推定	2 1	1	0	1	0	0	0
	2 3	20	10	19	14	31	37
	2 4	1	1	0	0	0	0
レベル3の推定	3 1	0	0	0	0	0	0
	3 2	4	9	2	5	13	0
	3 4	20	14	19	14	17	5
レベル4の推定	4 1	0	0	0	0	0	0
	4 2	0	0	0	0	2	0
	4 3	44	48	44	51	54	57
合計		91	82	85	85	118	100

表 4 M1 橋での 551 箇所と 210 箇所の学習データの推定結果

			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	一致箇所数	4/7	7/7	0/7	5/7	3/7	0/7
		精度 (%)	57.1	100.0	0.0	71.4	42.9	0.0
	レベル3の推定	一致箇所数	33 / 33	32 / 33	30 / 33	33 / 33	26 / 33	29 / 33
		精度 (%)	100.0	97.0	90.9	100.0	78.8	87.9
	レベル4の推定	一致箇所数	0 / 8	0 / 8	4 / 8	0 / 8	0 / 8	1 / 8
		精度 (%)	0.0	0.0	50.0	0.0	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	一致箇所数	3/7	4/7	5/7	5/7	3/7	4/7
		精度 (%)	42.9	57.1	71.4	71.4	42.9	57.1
	レベル3の推定	一致箇所数	21 / 33	31 / 33	28 / 33	29 / 33	26 / 33	28 / 33
		精度 (%)	63.6	93.9	84.9	87.9	78.8	84.9
	レベル4の推定	一致箇所数	7 / 8	4 / 8	4 / 8	5 / 8	1 / 8	2 / 8
		精度 (%)	87.5	50.0	50.0	62.5	12.5	25.0

表 5 M1 橋での 210 箇所の学習データを 2 つに分けた推定結果

			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	一致箇所数	7/7	7/7	6/7	6/7	3/7	7/7
		精度 (%)	100.0	100.0	85.7	71.4	42.9	100.0
	レベル3の推定	一致箇所数	29 / 33	29 / 33	24 / 33	23 / 33	23 / 33	15 / 33
		精度 (%)	87.9	87.9	72.7	69.7	69.7	45.5
	レベル4の推定	一致箇所数	5 / 8	4 / 8	8 / 8	8 / 8	0 / 8	1 / 8
		精度 (%)	62.5	50.0	100.0	100.0	0.0	12.5
			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	一致箇所数	4/7	7/7	2/7	4/7	2/7	1/7
		精度 (%)	57.1	100.0	28.6	57.1	28.6	14.3
	レベル3の推定	一致箇所数	23 / 33	23 / 33	28 / 33	30 / 33	23 / 33	27 / 33
		精度 (%)	69.7	69.7	84.9	90.9	69.7	81.8
	レベル4の推定	一致箇所数	4 / 8	4 / 8	0 / 8	2 / 8	4 / 8	3 / 8
		精度 (%)	50.0	50.0	0.0	25.0	50.0	37.5

表 6 M1 橋での部位別推定結果

		Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5	Case-6	
LL,UL,LW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
MW,UW,LU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

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%の箇所が見られる。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、外観評価レベル3,4は70箇所以上あるために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210箇所の学習データを各レベル35箇所づつに分けた計105箇所を学習データとしM1橋の推定を行った。その結果を表5に示す。学習データ(1)の方が学習データ(2)より高い精度となった。この原因として学習データの部位数が関係していると考えられる。表7に学習データの各部位数を示す。学習データ(1)

表 7 学習データの各部位数

	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

の方では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とから部位による影響があると考えられ、表7のLU,UW,MWとLW,UL,LLを学習データとしM1橋のLU,UW,MWとLW,UL,LLをそれぞれ推定し結果を表6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。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・測色調査の入力パラメータだけで外観評価レベル2や1を推定することはできない。また、さび厚量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。
- ・セロ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。
- ・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を確認できた。

今後の課題として、各部位の学習データ数によって何故精度が異なるのかを検証すること。また、M1橋以外でも推定することができるのかを確認する必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本鉄鋼連盟,(社)日本橋梁建設協会:耐候性鋼の橋梁への適用(解説書),2002
- 2) 日本鋼構造協会・鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会 鋼橋の防食・LCC 部会:鋼橋のLCC 評価と防食設計,2002
- 3) 吉富康成:ニューラルネットワーク,朝倉書店,1992