

耐候性鋼橋の腐食評価の定量化に関する研究

建設構造研究室 齊藤 慎吾

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，鋼材表面に安定化さび層と呼ばれる緻密なさび層が形成される．その安定化さび層が水や酸素の透過を防ぎ，腐食作用を抑制する働きを持つため，無塗装で使用が可能で，塗装によるライフサイクルコスト（LCC）を低減することができる．

耐候性鋼橋は，メンテナンスフリーであるという認識が強いが，緻密で密着性に優れた安定化さび層の生成には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なミニマムメンテナンス橋である．

耐候性鋼橋の点検・調査において，評価基準にさび粒子の大きさや色調がよく用いられ，その代表的なものに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，さびの色調を目視により評価する方法で，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，また判断が評価者の主観により左右されてしまう問題点がある．

2. 目的

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の情報と腐食環境や腐食状態との関係を検討して，客観的な外観評価レベル推定手法を提案することで，今後の維持管理の一助とするものである．

表 1 測色調査対象橋梁

橋梁名	S	U	A	M
建設年	1994年	1983年	2000年	1993年
架設地点	西蒲原郡巻町	新津市	三島郡越路町	西蒲原郡湯東町
表面処理	表面処理	表面処理	裸	裸
離岸距離	8km	17km	18km	12km
桁下空間	河川	河川	河川	河川
周辺環境	平地	平地	平地	市街地

3. 調査項目と対象橋梁

本研究では，以下に示す現地調査によりさび外観評価基準の評価因子の数値化を行った．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．

測色調査

表 1 に示す 4 橋を対象とし，さび粒子の色調を計測するため，分光測色計を利用して色の数値化を行った．分光測色計は照明光源の反射された光を波長成分に分け，各波長の反射率を測定することで色の数値化を行うものである．色の数値化には， L^*C^*h 表色系を利用した．また，比較対象とするためさび厚量の計測も同時に実施した．

ゼロテープ試験

さび粒子の大きさや量，均一さなどを数値化することを目的とし，の 2 橋を含む 30 橋を対象に実施した．

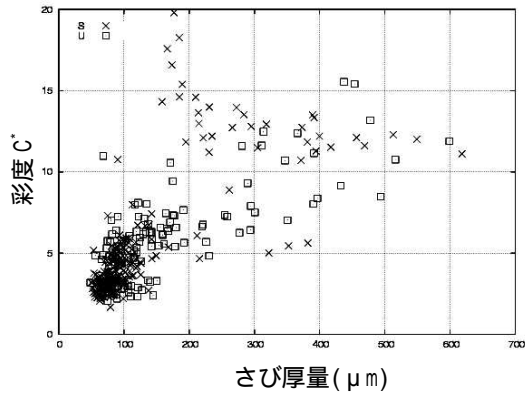
4. 調査結果と考察

測色調査

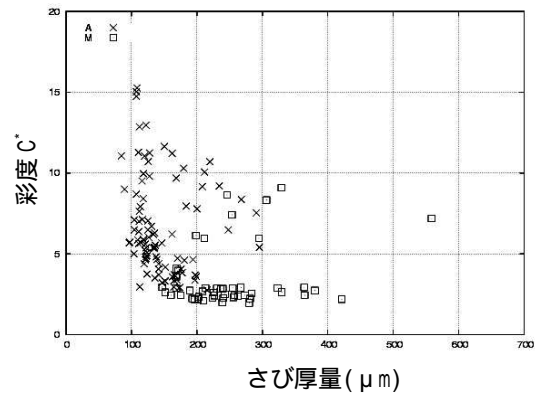
表 2 より，表面処理仕様橋梁，裸使用橋梁ともに，雨水や結露による洗い流しを受けにくく，水分や湿気が溜まりやすい腐食環境が厳しい部位の内桁下フランジ上面で，彩度 C^* が他の部位に比べて大きくなり，10 以上を示す傾向が見られた．

表 2 部位別平均の彩度

		表面処理仕様						裸使用					
		S橋			U橋			A橋			M橋		
		内桁平均	外桁平均	両面	内桁平均	外桁平均	両面	内桁平均	外桁平均	両面	内桁平均	外桁平均	両面
A 端	上フランジ下面	3.06	2.97	3.05	3.66	2.81	3.49	7.94	11.15	8.74	3.11	3.13	3.12
	ウェブ上部	2.96	3.13	2.97	4.35	2.60	4.00	6.69	5.74	6.45	2.86	2.67	2.77
	ウェブ中央	2.79	3.78	2.89	3.90	3.22	3.76	5.95	5.68	5.88	2.78	2.33	2.55
	ウェブ下部	4.01	3.01	3.91	4.98	3.96	4.78	5.25	13.27	7.25	2.86	2.20	2.53
	下フランジ上面	14.32	1.93	13.08	12.92	6.52	11.64	10.34	12.90	10.98	8.70	7.39	8.04
	下フランジ下面	3.41	2.88	3.36	4.19	3.47	4.05	5.20	4.68	5.07	2.72	2.73	2.72
B 端	上フランジ下面	4.53	4.54	4.53	5.98	5.55	5.89	6.51	6.28	6.45	2.50	2.93	2.72
	ウェブ上部	4.22	3.35	4.14	7.25	5.86	6.97	5.03	3.53	4.65	2.35	2.55	2.45
	ウェブ中央	3.56	4.53	3.66	6.49	5.77	6.34	3.88	5.10	4.18	2.33	2.07	2.20
	ウェブ下部	5.53	7.96	5.77	6.92	7.21	6.97	3.18	11.24	5.19	2.41	2.22	2.31
	下フランジ上面	11.74	2.85	10.85	9.58	7.60	9.18	8.59	13.95	9.93	6.57	6.68	6.63
	下フランジ下面	4.11	3.64	4.06	5.84	5.13	5.70	3.93	4.92	4.18	2.75	2.76	2.75



(a) 表面処理仕様橋梁



(b) 裸使用橋梁

図 1 彩度 C^* とさび厚量の関係

裸使用橋梁では、内桁下フランジ上面以外の外桁下フランジ上面、ウェブ下部、上フランジでも、彩度 C^* が 10 以上を示す傾向が見られた。また、色相角度 h においても彩度 C^* と同様に内桁下フランジ上面で大きな値を示す傾向が見られた。

図 1 より、表面処理仕様橋梁、裸使用橋梁ともに、さび厚量と彩度 C^* との間に相関が見られなかった。同様に、色相角度 h にもさび厚量との相関は見られなかった。このことから、さび粒子の色調は腐食量により変化するのではなく、環境により変化し、厳しい環境の場合、彩度 C^* 、色相角度 h とともに大きくなると考えられる。

ゼロテープ試験

図 2 より、外観評価レベルが低くなると平均粒径の分布が右側へ移行していく傾向が見られるが、さび外観評価基準で区分されている境界で完全に区分されておらず、同程度の平均粒径でも外観評価レベルが異なる場合があり、外観評価レベルが重なる範囲が存在している。図 3~5 に示

すように、さび平均粒径は、1mm、5mm 程度のさび外観評価基準の区分付近で、目視によるため、評価者の主観や調査毎で評価がばらついてしまい、正確に評価できていない箇所が多数見られる。同様に面積量や均一さを示す指標のばらつきといった他の評価因子においても、評価者の主観や調査毎のばらつきにより強い相関関係を見ることができなかった。

外観評価レベルには、評価者の主観や調査毎のばらつきが含まれているため、このように、1つの評価因子のみで外観評価レベルを推定する方法は、正確に評価できない可能性が高くなると考えられる。

5. 外観評価レベル推定手法の提案

評価者の主観や調査毎に起こるばらつきに左右されない客観的な外観評価レベル推定手法の 1つとして、階層型ニューラルネットワークを用いた手法を提案したい。

階層型ニューラルネットワークは、入力情報を受け取る入力層、受け取った入力情報を処理し出力情報に変換する中間層、出力情報を伝達する出力層に分類され、入力層からデータを与えると、層を進むにつれデータが変換されながら、出力層へ向かう一方向の結合のみのネットワークである。階層型ニューラルネットワークは、入力パターンとそれに対応する出力パターンとの関係を学習することができ、学習することでデータの変換に用いられる結合係数が決定され、一般的にパターン認識や予測問題などに利用されている。

本研究で実施したセロテープ試験、測色調査、さび厚量計測から得られた調査結果を入力パラメータとして、表 3 に示す 6 ケースについて A 橋、M 橋の A 端側 72 箇所を学習データとし、B 端側 72 箇所の外観評価レベルを推定し、実測値と比較検討した。

表 4 に示すように、すべてのケースで 70% を超える精度を得ることができ、Case-1 と Case-4 で 80% を超える精度を確認できた。測色調査の調査データを入力パラメータとしている Case-4 は、最も高い精度が得られたが、図 6 より、維持管理の上で最も重要とされる外観評価レベル 2 で実測値とのずれが見られる。図 7 に示す本研究の現地調査から得られる調査データをすべて入力パラメータとした Case-1 では、最大誤差、平均誤差ともにすべてのケースの中で最も小さく、外観評価レベル 2 の推定もできている。

この手法で外観評価レベルを推定することにより、さび外観評価基準の問題点である評価者の主観、調査毎におけるばらつきに左右されることなく、客観的に評価できると考えられる。しかし、本研究では推定に用いた調査データが少ないため、今後の課題として、さらに調査データ数を増やした場合の精度を確認し、適切な学習データを選定して、最適な階層型ニューラルネットワークを構築していく必要があると考えられる。

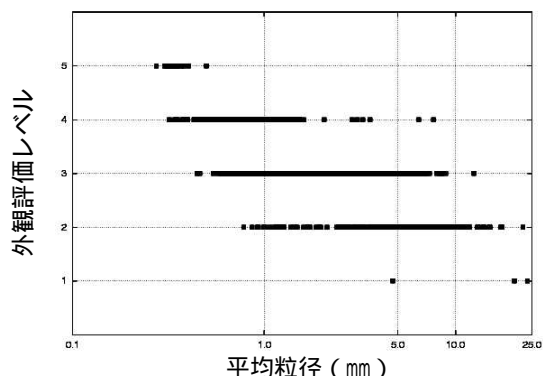


図 2 平均粒径と外観評価レベルの関係

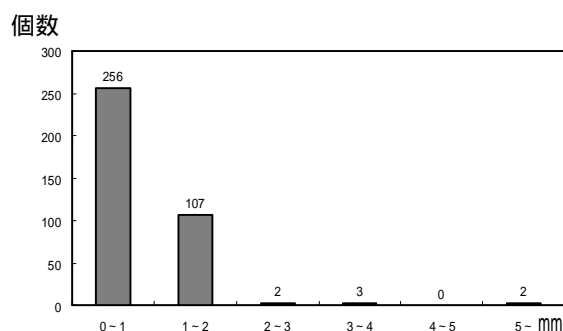


図 3 外観評価レベル 4 の平均粒径の分布

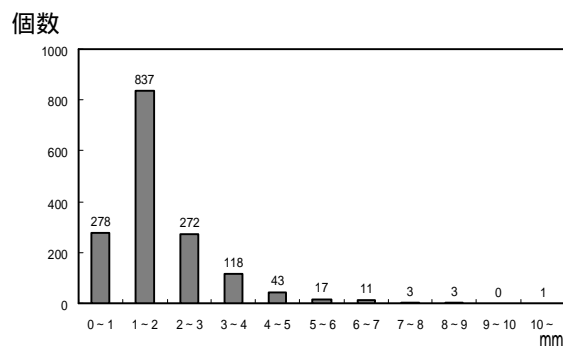


図 4 外観評価レベル 3 の平均粒径の分布

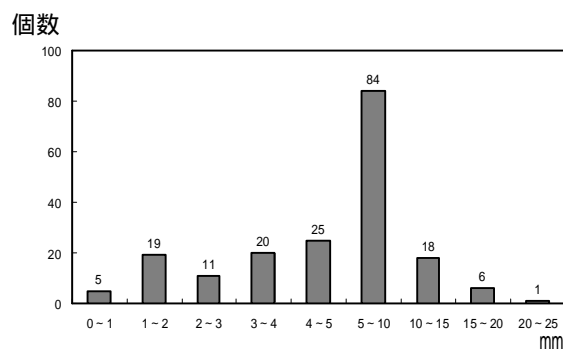


図 5 外観評価レベル 2 の平均粒径の分布

表 3 各ケースの入力パラメータ

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Case -1	平均粒径	さび面積量	ばらつき	さび厚量	明度	彩度	色相角度
Case -2	平均粒径	さび面積量	ばらつき	-	-	-	-
Case -3	平均粒径	さび面積量	ばらつき	さび厚量	-	-	-
Case -4	明度	彩度	色相角度	-	-	-	-
Case -5	明度	彩度	色相角度	さび厚量	-	-	-
Case -6	平均粒径	彩度	色相角度	さび厚量	-	-	-

表 4 各ケースの精度

ケース	Case -1	Case -2	Case -3	Case -4	Case -5	Case -6
一致箇所数	60	54	51	62	55	54
精度	83.3%	75.0%	70.8%	86.1%	76.4%	75.0%
最大誤差	0.9965	1.3663	1.3407	1.0891	1.2408	1.7378
平均誤差	0.2935	0.3694	0.3629	0.296	0.3401	0.3383

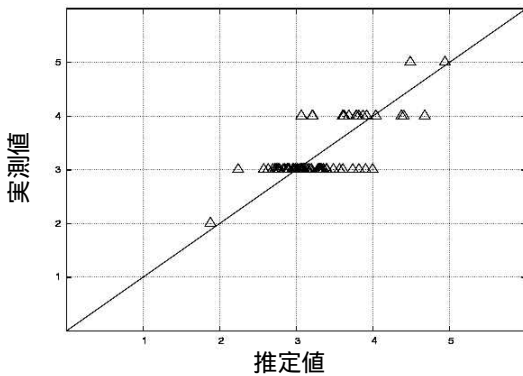


図 6 実測値と推定値 (Case -1)

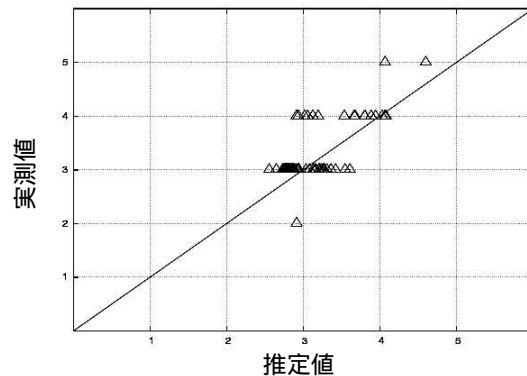


図 7 実測値と推定値 (Case -4)

6. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 表面処理仕様、裸使用橋梁ともに腐食環境の厳しい内桁下フランジ上面で彩度、色相角度が大きくなる傾向が確認できた。
- ・ さび外観評価基準である個々の評価因子と外観評価レベルとの間には強い相関は認められなかった。
- ・ さび外観評価基準の評価因子を入力パラメータとした階層型ニューラルネットワークを用いた外観評価レベルの推定手法を提案することができた。

今後の課題として、外観評価レベルの推定に用いた調査データが少ないため、さらに調査データ数を増やし、信頼性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) (社)日本橋梁建設協会: 無塗装橋梁の手引き, 1998.