

無塗装耐候性橋梁のさびレベル予測に関する一検討

宇部興産機械(株) 正会員 後藤 悟史
 山口大学 正会員 麻生 稔彦
 山口大学 フェロー会員 宮本 文穂

1. はじめに

LCC削減を目的とし、塗装の塗り替えを必要としない耐候性鋼材の鋼橋への適用実績は年々増加し、2002年での全鋼橋に占める割合は15%に至っている¹⁾。しかし、これまでに行われている実態調査では、有害な腐食さびが発生している事例も報告されており、将来の腐食さびの発生を予測できれば、設計および維持管理に資することが出来る。このため、これまでに紀平ら²⁾は腐食速度パラメータを推定する数式モデルを示し、架橋場所の気象データや飛来塩分量などから、簡易に耐候性鋼の腐食減耗を予測する方法を提案している。本研究では、実態調査データを対象に多変量解析を行い、環境条件や構造条件がさびレベルに与える影響を定量的に評価し、さびレベル予測式を提案することを試みる。

2. 実態調査の概要と解析対象条件

本研究では、九州橋梁・構造工学研究会（KABSE）に設置された「九州・山口地区における耐候性橋梁の調査・研究分科会」（主査：山口栄輝九州工業大学教授）の活動の一環として、同地区における耐候性橋梁の実態調査によって収集されたデータを用いる³⁾。表-1に評価に用いたさび外観評点基準を示す¹⁾。解析は、実態調査データ335橋のうち70%近くを占める鉸桁形式の、主桁下フランジミクロ評価（全130データ）を対象とした。図-1にさびレベル別の解析対象データ数を示す。

3. 数量化理論 類による多変量解析

数量化理論 類は、質的データである説明変数をダミー変数として置き換えた重回帰分析である。実態調

表-1 さび外観評点基準

状態	評点	目視外観	さび厚
正常	5	腐食が進まず、さびも薄い	200 μm程度未満
	4	平均外観粒径1mm程度以下で均一なさび	400 μm程度未満
	3	平均外観粒径1~5mm程度のさび	
要観察	2	外観粒径5~25mm程度のうるこ状剥離があるさび	400 μm程度以上 800 μm程度未満
異常	1	層状剥離がおきているさび	800 μm程度以上

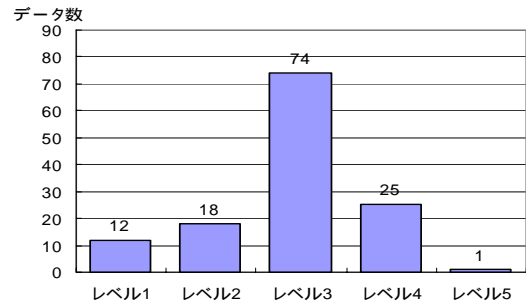


図-1 解析対象データのさびレベル

表-2 解析で用いたアイテム（説明変数）

	アイテム
構造データ	・経過年数(年) ・橋長(m) ・桁端部の遊間(cm) ・桁端部の風通し(良悪) ・伸縮装置形式(フィンガー、ゴム他)
地形データ	・離岸距離(m) ・標高(m) ・地形(山間、平地) ・桁下空間の利用状況(河川湖、谷・道路・鉄道)
気象データ	・平均気温(°C) ・最高気温(°C) ・最低気温(°C) ・平均風速(m/s) ・日照時間(hr) ・降水量(mm)

査結果をふまえ、解析で用いる外的基準（目的関数）をさびレベルとし、アイテム（説明変数）を表-2とした。実態調査データ中にはこれらアイテムの欠損もあるが、一つでも欠損があれば全ての説明変数の組み合わせにおいて無効データとする。また、気象データは

表-3 解析結果

case	重相関係数	構造データ					地形データ			気象データ						
		経過年数	橋長	遊間	風通し*	伸縮装置*	離岸距離	地形*	利用状況*	標高	平均気温	最高気温	最低気温	平均風速	日照時間	降水量
1	0.388				2	2		2	2							
2	0.440	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2	2	2
3	0.461	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	0.794	3	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3
5	0.458	3	3				5									
6	0.375										5	4	4	3	5	3
7	0.432										5	4	4	3	5	6
8	0.600	3	3				5				5	4	4	3	5	3
9	0.524			5			5				5					
10	0.709	5	5	5			5			5	5			5	5	5
11	0.791	5	5	5			5			5	5	5		5	5	5
12	0.914	5	5	5	2	2	5	2	2	5	5			5	5	5
13	0.959	5	5	5	2	2	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5

*質的データであり、カテゴリ数2は固定

架橋地点に最も近いアメダスポイントのものを使用した。アイテムのカテゴリ構成は、解析結果に大きな影響を与え、一般に、各カテゴリ標本数は極端に少ないこと、同アイテム中のカテゴリ別標本数をできるだけ均一にすることなどを考慮する必要がある。そこで、本検討ではさまざまなカテゴリ構成で解析を行い、重相関係数の違いを比較することとした。

4. 解析結果

解析結果を、表-3 に示す。表中の数字は各アイテムのカテゴリ数を示し、空白はそのアイテムを使用していないことを表す。表-3 から、同じアイテムでもカテゴリ数を増やすほど、また同じカテゴリ構成でもアイテム数を増やすほど重相関係数は高くなり、回帰精度が向上することがわかる。

5. さび安定化度予測式の提案

以上の結果をふまえ、最も重相関係数の高い case13 をさらに分析し、相関に含まれる多重共線性を排除した。これにより、最高気温・桁下空間の利用状況・経過年数のアイテムを破棄したが、重相関係数は 0.908 と高い相関を維持することができた。分析によって得られた各アイテムレンジを図-2 に、提案する予測式を表-4 に示す。図-2 から、平均気温や遊間長が離岸距離と同等にさびレベルに影響を与えることがわかる。これは、離岸距離で検討している現在の耐候性鋼適用基準を裏付けるとともに、遊間長や気象条件なども無視できないことを定量的に示している。また、風通しの良悪・伸縮装置形式・地形の 3 アイテムは質的情報に基づく 2 カテゴリアイテムであるため、計算上最下レンジとなることが避けられない結果となった。

表-4 に示すさびレベル予測式の妥当性を検証するため、実態調査以外の調査データ 3 つを用意し、提案式による予測値と実調査値とを比較した。比較結果の一覧を表-5 に示す。各アイテムに対応する数値からカテゴリ数を算出し、予測式にあてはめることでさびレ

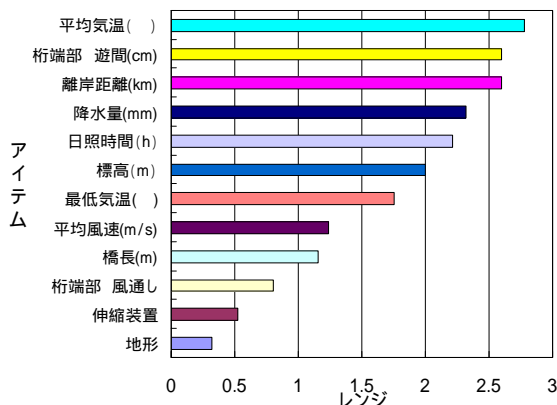


図-2 多重共線性を除いた分析によるアイテムレンジ

ベルを計算した。橋梁 A で予測値が 5 以上の値となっているが、これは予測式が線形回帰に基づくためであり、レベル 5 に置き換えれば実用上問題はない。3 橋とも、予測は全て 1 程度の誤差の範囲内であり、予測式はおおむね妥当であると考えられる。

6. まとめ

実態調査データを分析することで、環境条件や構造条件がさびレベルに与える影響を定量化することができた。また、さびレベルの予測式を提案し、別の 3 橋の調査データを用いてその妥当性を得ることができた。一方、質的情

報として 2 カテゴリのみで検討を行った風通しの良悪・伸縮装置形式・地形の影響の詳細な評価が、今後の課題である。

本研究の実施にあたっては、KABSE 分科会メンバーの皆様にご助力いただいた。ここに記して感謝します。

表-4 さびレベル予測式

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量
離岸距離(km)	0-5	0.257
	5-10	0.149
	10-20	0.729
	20-30	-0.684
	30-	-1.868
+ 橋長(m)	0-30	0.730
	30-60	-0.424
	60-90	0.575
	90-120	-0.278
	120-	0.399
+ 遊間(cm)	0-4	0.727
	4-8	-0.331
	8-12	-0.496
	12-16	0.421
	16-	2.105
+ 標高(m)	0-100	-0.226
	100-200	1.038
	200-300	-0.106
	300-400	-0.258
	400-	-0.958
+ 平均気温()	-14	1.501
	14.0-15.0	-0.139
	15.0-16.0	-0.315
	16.0-17.0	0.615
	17.0-	-1.279
+ 最低気温()	-10	0.313
	10.0-11.0	0.845
	11.0-12.0	-0.504
	12.0-13.0	0.152
	13.0-	-0.909
+ 日照時間(h)	-1600	0.000
	1600-1700	1.134
	1700-1800	-0.238
	1800-1900	0.170
	1900-	-1.075
+ 平均風速(m/s)	0.5-1.0	-0.330
	1.0-1.5	-0.654
	1.5-2.0	0.586
	2.0-2.5	-0.241
	2.5-	0.515
+ 降水量(mm)	-1800	-0.660
	1800-2100	-0.302
	2100-2400	-0.375
	2400-2700	1.661
	2700-	0.135
+ 地形	山間	0.152
	平地	-0.169
+ 風通し	良い	-0.423
	悪い	0.379
+ 伸縮装置	非排水型鋼製フィンガー	0.294
	その他	-0.228
+ 定数項		2.800

表-5 予測値と実調査値との比較

アイテム	橋梁A		橋梁B		橋梁C	
	数値	カテゴリ数量	数値	カテゴリ数量	数値	カテゴリ数量
離岸距離(km)	26.6	-0.6838	1.6	0.2571	3.3	0.2571
+ 橋長(m)	230.0	0.3991	21.5	0.7297	128.0	0.3991
+ 遊間(cm)	41.0	2.1049	5.0	-0.3307	12.0	0.4208
+ 標高(m)	109.0	1.0384	2.0	-0.2260	85.0	-0.2260
+ 平均気温()	13.4	1.5010	14.6	-0.1389	14.6	-0.1389
+ 最低気温()	8.9	0.3135	10.3	0.8452	10.3	0.8452
+ 日照時間(h)	1545.5	0.0004	1842.0	0.1702	1842.0	0.1702
+ 平均風速(m/s)	0.7	-0.3298	1.3	-0.6545	1.3	-0.6545
+ 降水量(mm)	2248.1	-0.3752	1770.9	-0.6601	1770.9	-0.6601
+ 地形	山間	0.1518	平地	-0.1694	山間	0.1518
+ 風通し	良い	-0.4232	良い	-0.4232	良い	-0.4232
+ 伸縮装置	マウラージョイント	-0.2279	ゴム	-0.2279	非排水型鋼製フィンガー	0.2943
+ 定数項	2.8000		2.8000		2.8000	
= 予測レベル	6.3		2.0		3.2	
実調査レベル	5		2		4	

- 1) 三木・市川：現代の橋梁工学，数理工学社，2004.12
- 2) 紀平ら：耐候性鋼の腐食減耗予測モデルに関する研究，土木学会論文集 No.780/ -70, pp.71-86, 2005.1
- 3) 山口ら：九州・山口地区における耐候性橋梁の調査・研究分科会報告書