

数量化理論Ⅰ類を用いた耐候性鋼橋の錆レベル予測

山口大学大学院 学生員 ○田畑 晃
山口大学大学院 正会員 麻生稔彦
宇部興産機械(株) 正会員 後藤悟史

1. はじめに

近年では塗装橋梁に比べLCCを低減できることから、耐候性鋼橋梁はその建設数が増加している。一方、これまでに実態調査が行われた耐候性鋼橋梁で、腐食性錆の発生事例が報告されている。腐食性錆の発生を推定することができれば、耐候性鋼橋梁のLCC評価、維持管理のために有用であると考えられる。そこで、本研究では既往の調査事例を用い、耐候性鋼橋梁の錆レベル推定式の構築を目的とする。

2. 対象橋梁

耐候性鋼橋梁の錆レベルの推定にあたり、精度のよい推定式を構築するためには多くの調査事例が必要となる。本研究では、九州・山口地区に存在する耐候性鋼橋梁359橋と九州・山口地区以外（以下、他地区とする）の耐候性鋼橋梁165橋の計524橋についての調査結果を収集した。524橋のうち62%は鈑桁であるため、今回は裸仕様の鈑桁橋を対象とする。また、推定に使用するパラメーターは表-1に示す通りとし、このうち構造データおよび地形データの記録がある61橋について検討を進める。また、他地区に所在する8橋についても今回の解析の対象とした。ここで、気象データは、各橋梁の所在地直近にあるアメダス観測点のものを使用する。なお、表-1において量的データは数値で与えられるものであり、質的データは数値とはならないデータである。耐候性鋼橋梁の評価は表-2の錆レベルにより行われる。図-1に対象とした69橋の錆レベル別橋梁数を示す。錆レベル3の橋梁が全体の48%を占めている。

表-1 データ種類

	量的データ	質的データ
構造データ	経過年数、橋長、桁端部の遊間	桁端部の風通し、伸縮装置
地形データ	離岸距離、標高	地形、桁下空間の利用状況
気象データ	平均気温、最高気温、最低気温 平均風速、日照時間、降水量	

表-2 錆レベル評価

錆レベル	外観評価区分	処置目安
5	錆の量は少なく、比較的明るい色調を呈する。 (錆厚: 約200 μ m未満)	不要
4	錆の大きさは1mm程度で細かく均一である。 (錆厚: 約400 μ m未満)	不要
3	錆の大きさは1~5mm程度で細かく均一である。 (錆厚: 約400 μ m未満)	不要
2	錆の大きさは5~25mmのうろこ状である。 (錆厚: 約800 μ m未満)	経過観察要
1	錆は層状の剥離である。 (錆厚: 約800 μ m以上)	補修

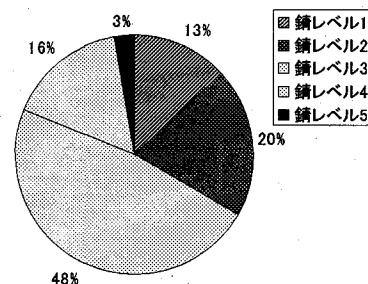


図-1 錆レベル別橋梁数

3. 錆レベル予測

耐候性鋼橋梁の錆レベルの推定は、表-1に示したアイテムを説明変数、錆レベルを目的変数として行う。表-1より、質的データ数は量的データ数に比べ少ないため、量的データのみでも錆レベルの推定は可能ではないかと考えた。そこで、説明変数として量的データのみを用いる重回帰分析と、質的データも考慮できる数量化理論Ⅰ類との比較を行った。推定にあたっては、重相関係数を評価尺度として、アイテムの分別を行う。

ただし、重回帰分析や数量化理論Ⅰ類の適用にあたっては多重共線性の発生が見られた。そのため、重回帰分析では橋長、平均気温、最低気温および平均風速を排除した。一方、数量化理論Ⅰ類では経過年数、平均気温、最低気温および桁下空間の利用状況を排除した。以上より、重相関係数は、重回帰分析が0.461、数量化理論Ⅰ類が0.840となり、数量化理論Ⅰ類のほうが精度が良い。これより、錆レベルの推定にあたっては、質的データを含める必要があることが明らかとなった。

表-3 錆レベル5区分と2区分の重相関係数と残差

錆レベル:5区分			錆レベル:2区分		
	重相関係数	残差(%)		重相関係数	残差(%)
ケース1	0.726	56.06	ケース1	0.676	86.36
ケース2	0.868	77.27	ケース2	0.786	90.91
ケース3	0.840	71.21	ケース3	0.837	98.48
ケース4	0.814	53.03	ケース4	0.861	96.97
平均値	0.812	64.39	平均値	0.790	93.18

表-2 の錆レベル区分は補修・観察が必要な錆レベル 1,2 と、健全な状態である錆レベル 3,4,5 に区分できる。そこで、目的変数を 5 区分の錆レベルとした場合と、健全性により 2 区分とした場合の比較を行う。これにより得られた重相関係数と残差を表-3 に示す。ここで、ケース 1~4 は推定に用いたアイテムが異なることを示す。重相関係数の平均は 5 区分が 0.812、2 区分が 0.790 となり、大きな差はない。しかし、錆レベルと推定量の残差の平均は、5 区分で 64.39%、2 区分においては 93.18%の橋梁において ± 0.5 未満となり、2 区分のほうが精度が良い。さらに、他地区橋梁 8 橋を除くと、重相関係数は 0.840 から 0.919 となる。以上により得られた各標本の残差を当初の残差と比較して図-2 に示す。残差は、改善前が 68%の橋梁、改善後が 100%の橋梁において ± 0.5 未満となった。これは、錆レベルを 2 区分にすることで、橋梁数のばらつきを抑制することができたこと、および出力が簡素化されたためだと考える。また、他

地区の橋梁を排除することで精度が向上することから、錆レベル予測式には地域性があると考えられる。

以上の検討により、目的変数を 2 区分とし他地区の橋梁を除く必要があることが明らかとなった。そこで、この条件において表-1 のデータのうち、錆レベルに強く影響を与える要因を検討する。検討にあたり、精度検定に用いる橋梁を変え、4 パターンの錆レベル推定を行う。ここで、すべてのパターンで用いられているアイテムを錆レベルに強く影響を与える要因とし、これを有用アイテムと定義した。図-3 に正規化したレンジの累計を示す。これより、遊間、経過年数、橋長、および伸縮装置の 4 つが有用アイテムとして考えられる。この時の、重相関係数と残差の平均は 0.840 と 96.82%となり、よい精度を保っている。

これにより、錆レベルの推定に用いるアイテムを表-4 に示す。図-4 は、表-4 の条件により得られたアイテム・レンジである。表-4 では、錆レベルには質的データに比べ量的データが大きく影響を与えている。これは、質的データにおけるカテゴリが 2 つであることに起因すると考えられる。また、分析より得られたカテゴリ数量を表-4 中に示す。錆レベル推定は、カテゴリ数量和により求めることができる。精度検定のために、山口県内に架設された 3 橋梁について推定を行った。その結果、対象とした 3 橋梁すべてについて推定値は測定値と一致した。以上の結果より、得られた予測式は妥当であると考えられる。

4. まとめ

数量化理論 I 類を用いて、九州・山口地区における耐候性鋼橋梁の錆レベル推定式と有用アイテムを示した。予測式を適用した結果、錆レベルを推定することができ、有用アイテムとあわせ、今後の合理的な耐候性鋼橋梁の建設・維持管理の指標として有用であると考えられる。

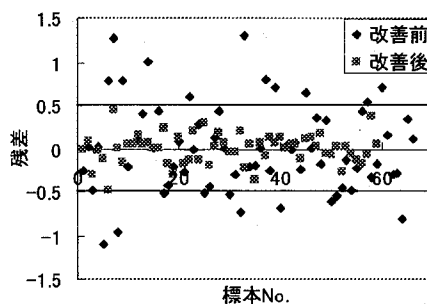


図-2 残差グラフ

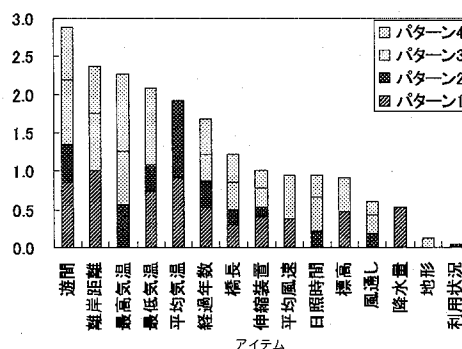


図-3 レンジの累計

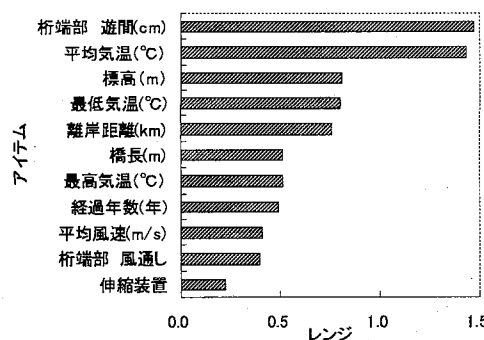


図-4 アイテム・レンジ

表-4 カテゴリ数量

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量
離岸距離(km)	-5	-0.0383
	5-10	0.0184
	10-20	0.4101
	20-30	-0.3496
	30-	-0.3354
経過年数(年)	-4	-0.0919
	4-8	-0.0394
	8-12	0.2416
	12-14	-0.2466
	14-	0.0999
橋長(m)	-30	0.0910
	30-60	-0.2556
	60-90	0.2587
	90-120	0.1148
	120-	0.1569
桁端部 遊間(cm)	-4	0.1363
	4-8	-0.2306
	8-12	-0.1278
	12-16	0.1359
	16-	1.2384
橋高(m)	-100	-0.1161
	100-200	0.4526
	200-300	-0.2033
	300-400	0.1633
	400-	-0.3566
平均気温(°C)	-14	1.1585
	14.0-15.0	-0.0536
	15.0-16.0	-0.2739
	16.0-17.0	0.0854
	17.0-	-0.0388
最高気温(°C)	-18.5	-0.1984
	18.5-19.5	0.0721
	19.5-20.5	-0.2309
	20.5-21.5	0.1524
	21.5-	0.2784
最低气温(°C)	-10	-0.1382
	10.0-11.0	0.4164
	11.0-12.0	-0.0288
	12.0-13.0	-0.3831
	13.0-	-0.2620
平均風速(m/s)	0.5-1.0	-0.0698
	1.0-1.5	-0.0608
	1.5-2.0	0.0795
	2.0-2.5	0.1005
	2.5-	-0.3071
桁端部 風通し	良い	-0.1980
	悪い	0.1980
伸縮装置	非排水型鋼製フィンガー	0.1268
	その他	-0.0961
定数項		1.7414