

鋼橋の腐食劣化と余寿命評価に関する研究

京都大学大学院 学生員〇三宅広昭
 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石成人
 京 都 大 学 高梨敏彦

1. はじめに 本研究は、効率的な鋼橋の維持管理システムを作成することを目的として、目視調査によって鋼橋がいかに腐食し劣化するかの現状を把握し、それに対していつどのような対策をとればよいかを検討するために余寿命評価を試みようとするものである。

2. 目視調査による橋梁の劣化評価 本研究では、鋼橋の腐食劣化の過程を塗膜劣化と鋼材腐食の2つに分け、各々について表-1に示す評価基準を用いて目視調査を行った。この調査を海岸環境4地域、田園環境3地域、市街環境2地域、山間環境1地域に属する277橋のそれぞれ26部位に対して行った。橋梁全体の腐食劣化の評価方法として、漏水箇所を除いた各部位の鋼材腐食評価点を用いて、次のような指数Xを用いる。その際、評価点は定性的なデータであるので、表-2に示す値を用いて定量化する。

$$X = \frac{0 \times A + 0.1 \times B + 0.23 \times C + 0.4 \times D + 0.6 \times E + 0.9 \times F + 3 \times G + 10 \times G'}{A + B + C + D + E + F + G + G'}$$

A～G' は各評価点の個数を表す

この指数Xを調査橋梁277橋について求めたところ、調査後撤去された橋梁および撤去予定の橋梁はいずれも $X \geq 1$ であった。そこで、本研究では $X = 1$ で橋梁は腐食によって寿命に達するとした。

3. 鋼橋の腐食劣化モデル ①塗膜劣化モデル 目視調査の塗膜劣化のデータを用いて塗膜寿命の予測を試みた。まず、調査データのうち漏水箇所および鋼材腐食の評価点がE～G'のデータを除き、塗替直後の評価点が4で、評価点のばらつき(σ)が経過年数に比例すると考えた直線回帰式(μ)を求め、 $\mu - 3\sigma$ を各部位の最小評価点と考えた(図-1)。次に、環境因子を用いて以下のようなモデル化を行った。

$$RN - 3\sigma = 4 + (a_0 + a_1 X_1 + a_5 X_5) t$$

RN: 塗膜劣化評価点、 X_1 : 気温(℃)、 X_5 : 海塩粒子量(g/m²・年)

t: 塗替後の経過年数、 a_0, a_1, a_5 : パラメータ

重回帰分析によってパラメータを算出し、 $RN - 3\sigma$ が2に達するまでの年数を塗膜寿命とした。

②鋼材腐食モデル 部材表面に雨の当たる場合と当たらない場合に対し文献3、4の鋼材暴露試験結果と環境因子を用いて以下のようなモデルについて重回帰分析を行った。

$$Y_i = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5$$

Y_i : 暴露1年後の腐食量(10⁻⁴mm)、 X_1 : 気温(℃)、 X_2 : 相対湿度(%), X_3 : 降水量(mm/年)、 X_4 : SO₂濃度(ppm)、 X_5 : 海塩粒子量(g/m²・年)、 $a_0 \sim a_5$: パラメータ

さらに、経年鋼材腐食量を予測するモデルとして、指数関数モデル($Y = k t^m$ Y: 鋼材腐食量、t: 経過年数、k, m: パラメータ)を考え、最小自乗法によってパラメータk, mを算出した。

表-1 目視調査評価基準

(1) 塗膜劣化(旧国鉄¹⁾および関西電力²⁾の管理基準を参考)

評価点	劣化状態
4	異常なし。もしくは塗膜の欠損面積が0.03%未満。
3	塗膜の欠損面積が0.03%以上0.3%未満。
2	塗膜の欠損面積が0.3%以上5%未満。
1	塗膜の欠損面積が5%以上

ただし、欠損とは塗膜表面のわれ、ふくれ、はがれ等を示す。

(2) 鋼材腐食

評価点	劣化状態
A	錆なし。もしくは発錆面積が0.5%未満
B	発錆面積が0.5%以上10%未満。
C	発錆面積が10%以上50%未満。
D	発錆面積が50%以上90%未満。
E	発錆面積が90%以上もしくは全面に均一に腐食している。
F	孔食が少し発生している。
G	孔食がかなり発生している。
G'	かなり激しく孔食が発生している。(孔食深さが板厚の1/2以上)

ただし、A～Eは孔食が認められない場合とする。

表-2 鋼材腐食評価点に対応する腐食量(mm)

評価点	A	B	C	D	E
腐食量	0.00	0.10	0.23	0.40	0.60

評価点	F	G	G'
腐食量	0.90	3.00	10.00

③橋梁各部位における腐食劣化モデル 本研究では、塗膜が寿命に達した後、鋼材の腐食が始まるとしているが、さらに、鋼材腐食の過程を全面腐食と孔食の2つに分け、全面腐食の最大値が0.7mmに達した時、孔食に移行し、腐食速度は4倍になるものとする。ここで、全面腐食の最大値は平均値を μ 、標準偏差を σ として $\mu+3\sigma$ で表されるものとし、全面腐食量の変動係数は0.1と仮定する。また、②のモデルでは暴露試験片に相当する腐食量しか得られないため、表-3に示す係数を用いて各部位における腐食量に変換する。

4. 余寿命評価 3.で行ったモデル化により橋梁の各部位における腐食劣化状態を環境因子を用いて予測することが可能となる。そこで、このモデルを用いて橋梁全体としての腐食劣化の進行を予測することを試みる。まず、2.で示した劣化指数Xをモデルにより次のように算出した。

$$X = \sum (\text{モデルによる各部位の腐食量}) / \text{部位数}$$

このようにして算出した値(評価値)と、2.で求めた値(実測値)とを比較したところ、市街環境では比較的良好一致がみられたが、海岸環境では評価値の方が実測値よりも大きくなり、田園・山間環境ではその逆になる傾向がみられた。環境によってモデルによる評価値にばらつきがみられた原因として、本モデルで用いた5つの環境因子だけでは腐食劣化特性を十分に表現できなかったことが考えられる。そこで、モデルによる評価値と実測値との誤差を補正する係数(α)を地域ごとに定めた。その1例を図-2に示す。次に、調査橋梁についてXが1に達するまでの年数、すなわち余寿命を求めた。その際、各橋梁は調査直後に塗替を行うものとし、その後の塗替周期として、各管理機関ごとに調査橋梁の塗替間隔の平均をとった。このようにして求めた余寿命の例を表-4に示す。

5. まとめ 本研究では、環境因子を用いて塗膜寿命および鋼材腐食量の予測を行い、さらに、それらを基にして実橋の余寿命評価を試みた。余寿命というものを具体的な数値で表すことによって、鋼橋の維持管理を行う上で貴重な資料になるものと考えられる。

参考文献 1)佐藤靖, 橋本達知; 鉄桁の防錆状態の調査および保守対策, 鉄道技術研究報告No.392, 1974.2
2)関西電力株式会社 水門鉄管塗装管理基準, 1984.8
3)阪神高速道路公団阪神高速道路管理技術センター; 防錆橋梁研究委員会報告書, 1980.11
4)建設省土木研究所; 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(I)~(VII), 1988

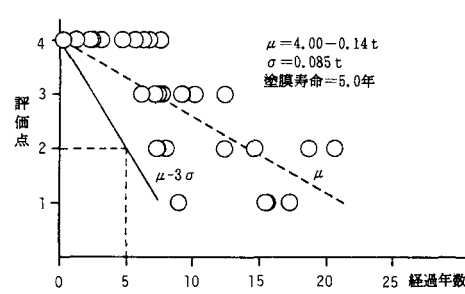


図-1 塗膜劣化評価点と塗り替え後の経過年数(City A: 田園環境)
橋梁部位: 外桁下フランジ下面
塗装系: フタル酸系

表-3 腐食劣化モデルに対する腐食比率

橋梁	部位	腐食劣化モデルに対する腐食比率		橋梁	部位	腐食劣化モデルに対する腐食比率	
		腐食劣化モデル	腐食比率			腐食劣化モデル	腐食比率
桁	外	支保部	1.80	中	伸縮継手	—	—
		上フランジ'下面外側	0.32			上フランジ'下面外側	0.38
		上フランジ'下面内側	0.47			上フランジ'下面内側	0.57
	桁	ウェブ外側	0.32		ウェブ内側	ウェブ外側	0.27
		ウェブ内側	0.53			ウェブ内側	0.51
		下フランジ'上面外側	0.53			下フランジ'上面外側	0.47
端	内	下フランジ'上面内側	1.79	内	下フランジ'上面内側	下フランジ'上面内側	1.79
		下フランジ'下面	0.68			下フランジ'下面	0.65
		伸縮継手	—			伸縮継手	—
	部	上フランジ'下面	0.68		部	上フランジ'下面	0.87
		ウェブ	0.59			ウェブ	0.66
		下フランジ'上面	1.77			下フランジ'上面	1.65
		下フランジ'下面	1.53			下フランジ'下面	1.18

(注) *印の部位は雨の当たらない場合の直回挿式を用いる
それ以外は雨の当たらない場合の直回挿式を用いる

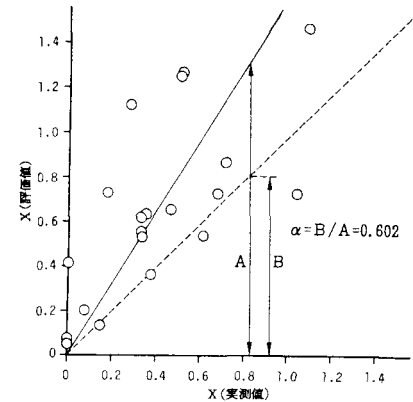


図-2 Xの実測値と評価値(City B: 海岸環境)

表-4 余寿命の推定(City B: 海岸環境)

No.	塗装系	経過年数	X(実測値)	余寿命(年)
1	塩化ゴム系	51	0.276	64
2	フタル酸系	51	0.505	35
3	フタル酸系	25	0.333	47
4	塩化ゴム系	7	0.000	90
5	フタル酸系	53	1.086	0
6	フタル酸系	33	0.327	47
7	フタル酸系	21	0.613	28
8	フタル酸系	26	0.675	25
9	フタル酸系	16	0.378	44
10	塩化ゴム系	12	0.075	82

塗替周期 フタル酸系: 18年, 塩化ゴム系: 17年