

I-231

腐食による橋梁劣化特性に関する確率論的研究

愛知県 正員○道浦 真 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 京都大学工学部 正員 白土博通

1. まえがき 現存する橋梁の中には損傷や劣化が問題となっているものが少なからず存在する。これら既存構造物をいかに長持ちさせるか、すなわち、いかに適切な維持管理を行うかが重要である。そのために、構造物の劣化の現状を把握し、また、将来の予測を行うことが重要であると考えられる。また、設計において限界状態設計法を採用する場合には荷重強度と構造物の抵抗強度を確率統計的に的確に表現することが重要である。そこで本研究では、種々の劣化現象の中で鋼桁橋の腐食問題を取り上げ、腐食による橋梁の経年劣化を考える第一歩として、橋梁部材の腐食をモデル化し確率統計的にその特性を表現することを試みた。

2. 橋梁部材の腐食特性 鋼橋の最も一般的な防食方法は塗装である。そこで、鋼構造物の腐食特性を考えるために、まず塗装塗膜の劣化特性を認識する必要がある。橋梁の塗装寿命に影響する因子として1)環境因子 2)塗装仕様 3)橋体の部位などが考えられる。本研究では、国鉄が行った鋼橋の外観調査結果¹⁾をもとに塗装寿命の確率分布の推定を試みた。推定手順は以下のようである。まず、

表1 塗装評価点の回帰式

環境	橋体の部位	回帰式	標準偏差
田園環境	下フランジ	$Y=2.59-0.107X$	$\sigma=0.103X$
	ウエブ	$Y=3.35-0.140X$	$\sigma=0.079X$
山間環境	下フランジ	$Y=4.01-0.319X$	$\sigma=0.128X$
	ウエブ	$Y=4.19-0.273X$	$\sigma=0.105X$
海岸環境	下フランジ	$Y=2.20-0.114X$	$\sigma=0.159X$
	ウエブ	$Y=3.66-0.215X$	$\sigma=0.086X$
工場環境	下フランジ	$Y=3.31-0.350X$	$\sigma=0.150X$
	ウエブ	$Y=3.52-0.225X$	$\sigma=0.151X$

国鉄の調査による塗装後の経過年数 x と塗装の評価点 y のデータをもとに、環境別、主桁のウェブ、フランジ別に x と y との回帰式を求める。この際、塗装の評価点が経年とともにばらつきが大きくなると考えられることを考慮して、回帰式のまわりに経年に比例する標準偏差 σ をもつ正規分布を仮定して回帰式を求めた。得られた回帰式を表1に示す。つぎに、本調査で塗装寿命と判断される評価点2以下になる確率を経年ごとに求めることによって塗装寿命の確率分布を推定した。ここでの評価点付けは国鉄制定の「塗膜劣化度およびケレン程度標準」（昭和47年）を基準としており、評価点2では、外観上は誰がみても発錆部分が多く、塗膜の防錆機能はほとんど失われていると考えられる。得られた結果の一例を図1に示す。

つぎに、鋼材腐食量の経年変化の推定を試みた。本研究では、種々の機関によって行われた全国15地点の鋼材試験片の暴露試験結果と環境因子データをもとに暴露期間1年から5年までの腐食量を推定する回帰式を求めた。得られた回帰式は以下のようであった。

$$Y_1=551.7 +53.2X_1 -15.4X_2 -0.111X_3 +33.9X_4 +44.6X_5 \cdots(1)$$

$$Y_2=878.3 +75.1X_1 -26.9X_2 +0.021X_3 +47.8X_4 +5.99X_5 \cdots(2)$$

$$Y_3=2001 +101.3X_1 -49.1X_2 +0.120X_3 +57.3X_4 +6.83X_5 \cdots(3)$$

$$Y_4=5259 +118.3X_1 -96.1X_2 +0.333X_3 +39.4X_4 +7.29X_5 \cdots(4)$$

$$Y_5=5793 +131.5X_1 -111.4X_2 +0.503X_3 +55.9X_4 +7.57X_5 \cdots(5)$$

ただし、 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 はそれぞれ1年後から5年後までの腐食量 ($\times 10^{-4} \text{ mm}$)
 X_1 : 気温 ($^{\circ}\text{C}$) X_2 : 湿度 (%) X_3 : 降水量 (mm) X_4 : SO_2 濃度 ($\times 10^{-3} \text{ ppm}$)

X5:海塩粒子 ($\times 10^{-4} \text{g/cm}^2$)

堀川らは長期の腐食量推定モデルとして次式に示される指数関数モデルを提案している。²⁾

$Y = A X^B \exp(C/X) \cdots (6)$ ただし、Y:腐食量 X:暴露期間 A,B,C:定数

式(1)～式(5)によって求められる短期間の腐食量と式(6)とにより、環境条件が与えられれば任意地点での長期間の腐食量の推定が可能となる。たとえば、表2に示す大阪の環境データより指数関数モデルのパラメータを推定すると、 $A=0.088$, $B=0.627$, $C=0.157$ が得られる。

これらの結果をもとに橋梁部材の腐食量予測モデルを考えた。その際、1)塗装が寿命に至るまでは橋梁部材の腐食は発生しない。2)いったん塗装が寿命に至ると塗装の防錆機能は完全に失われ、鋼材試験片の暴露試験結果と同じ経過をたどり腐食が進行すると仮定しモデル化を行った。ここでは腐食量の経年変化を鋼材試験片の暴露試験をもとに求めたが、この暴露試験によって得られる結果は鋼材の平均的な腐食量であるため、本モデルによる推定値は、橋梁の平均的な腐食量、すなわち全面腐食に対する推定値である。本研究では、大阪市内の橋梁において超音波板厚計を用い腐食量の測定を行い、本モデルの適用性の検討を行った。その結果を図2、図3に示す。ウェブに関しては問題が残るものの、下フランジについては比較的良い一致がみられた。

3. 結論およびあとがき 本研究では、橋梁部材の腐食特性を確率論的に表現することを試み、下フランジについては比較的精度良く腐食量を推定することができた。局所的な腐食、すなわち孔食のモデル化、腐食量から構造物の抵抗強度の低下への変換のモデル化など検討しなければならない点はまだ多く残されており、今後さらに研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤靖、橋本達知；鉄けたの防錆状態の調査結果および保守対策，鉄道技術研究報告 No.392，1974.2
- 2) 堀川一男、滝口周一郎、石津善雄、金指元計；各種金属材料および防錆被膜の大気腐食に関する研究（第5報），防食技術16，1967，pp.153-158

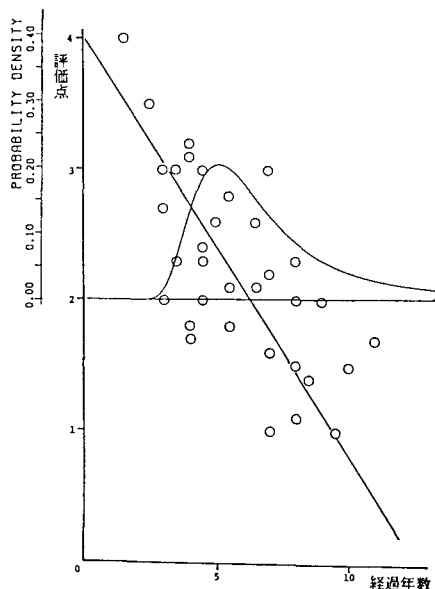


図1 塗装寿命の確率密度関数（山間環境・下フランジ）

表2 大阪の環境データ

X1	X2	X3	X4	X5
16.2	67	1400	22.6	8.1

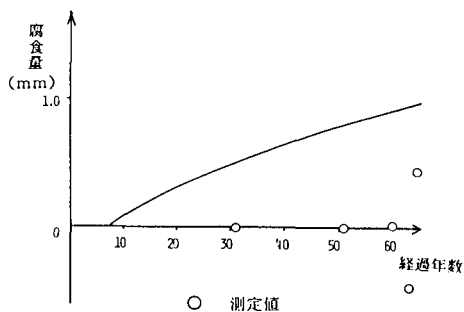


図2 腐食量の推定値（ウェブ）

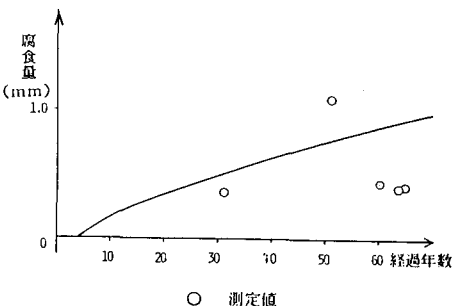


図3 腐食量の推定値（下フランジ）