

極値統計法を用いた橋梁の余寿命予測手法に関する研究

早稲田大学 学生員 ○ 岡 純平
早稲田大学 フェロー 依田 照彦

1. はじめに

現在、日本で供用されている道路橋の多くが、橋梁管理者の財源不足や技術力・人員不足などの理由により、十分な維持管理を行えない状況にあるという。とくに近年では、目視による検査が難しい狭隘な支承部付近に著しい腐食損傷を生じる事例が多く報告されており、部材のき裂や破断などと並ぶ鋼道路橋の重大損傷のひとつとして懸念されている。

今後ますます経済状況が厳しくなっていくと予想される中で、効率的かつ継続的に橋梁を維持管理していくためにも、“予防保全”を念頭に置いた維持管理計画の策定と、現場における点検や損傷度照査等の負担を軽減することがより重要になると考えられる。

本研究は、プラントメンテナンス分野における“極値統計法”を用いた装置の確率的な余寿命予測手法を参考に、少数サンプルから腐食損傷を受けた道路橋の損傷度を数値計算により推定し、その実用性を考察することによって、橋梁の腐食状況評価における負担軽減の一助とすることを目的としている。

2. 対象とする橋梁と腐食データ採取箇所の検討

本研究では、図-1 および表-1 にあるような諸元の橋梁のウェブに腐食が生じたと仮定し、極値理論を用いて最大局部腐食深さ推定を行った。

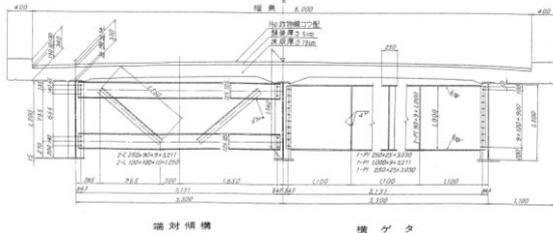


図-1 対象とする橋梁の断面図

表-1 橋梁の諸元

供用年数	約40年	橋長	20.400(m)	橋種	合成桁
架橋地点	沿岸部	全幅員	8.800(m)	鋼種	SM50
		桁高	1.200(m)	腹板厚	9 (mm)

腐食データに確率論的手法を適用するに当たっては、鋼道路橋の局部腐食に関する調査の結果を参考に、

「同一の腐食状況と考えられる範囲」を設定し、Gumbel 確率紙に腐食深さデータをプロットすることによって極値統計論の適応性を判断することとした。

なお、腐食データの測定区画数および面積、ならびにA橋の腐食深さデータは、表-2、表-3の通りである。

表-2 測定区画数および面積

腐食損傷範囲	400(mm)×600(mm)
測定区画面積	100(mm)×100(mm)
測定区画数	10
再帰期間(腐食損傷範囲/測定区画面積)	24

表-3 腐食深さデータ

要素番号	要素名	最大腐食量(mm)
1	W-2	0.52
2	W-3	0.67
3	W-8	1.16
4	W-9	1.35
5	W-14	1.57
6	W-15	1.58
7	W-19	1.66
8	W-20	3.00
9	W-21	3.19
10	W-22	3.09

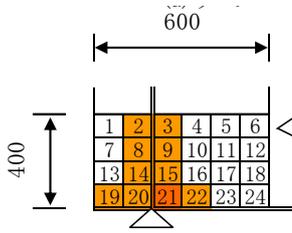
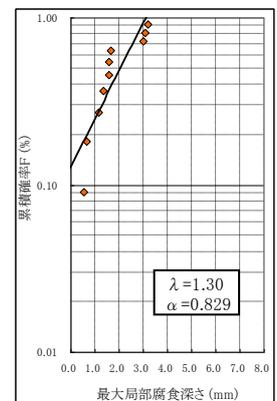


図-2 橋梁の腐食状況

また、図-3は表-3のデータをプロットしたものであるが、確率紙上で比較的よい直線関係を示していることが確認できる。したがって、これらのデータは最大値の二重指数分布に従い、極値統計法による数値計算が適用可能であると推定される。図-3 Gumbel 確率プロット



3. 最大局部腐食深さの推定

最大局部腐食深さの推定値を求める方法については、最も合理的であると言われている“最小分散線型不偏推定子法 (MVRUE 法)”を用いてプロットの最適直線を求め、推定値を算出することとした。また、推定された最大局部腐食深さは、安全側評価とするため、式(1)のように補正することとした。

$$\hat{x}_m^* = \hat{x}_m + 3\hat{\sigma}_{x_m} \tag{1}$$

ここに \hat{x}_m^* : 最大値の3シグマ上限値(mm)

\hat{x}_m : 最大局部腐食深さ推定値(mm), $\hat{\sigma}_{x_m}$: 推定値の標準偏差

キーワード：鋼橋 腐食 維持管理 極値統計法

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学社会環境工学科 依田研究室

しかしながら、鋼橋の場合は、部分的な欠食よりも、ある一定の範囲が減肉し、耐荷力の低下に至ることが問題となるため、腐食による損傷範囲の推定も重要となる。したがって、式(1)より補正した値を、さらに式(2)より部材の断面を一律に減肉させることとし、腐食が面的に進行していくものと仮定して腐食の進行度を推定することとした。

$$X = \left(\hat{x}_{i\max}^* + \sum_{i=1}^n x_i \right) / (n+1) \quad (2)$$

ここに X:減肉量(mm), n:腐食区画数,
 x_i:腐食深さの測定値 (mm)
 \hat{x}_m^* :式(1)より補正された推定値 (mm)

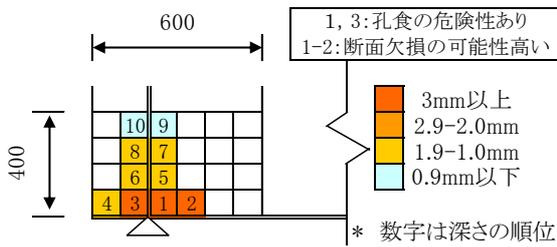


図-3 部材断面を減肉させるイメージ

4. 局部腐食進展予想曲線の算定

式(2)より得られた最大局部腐食深さの推定値をもとに、“局部腐食進展予想曲線”を求め、A橋における保守限界に至るまでの所要年次の予測を行った。“局部腐食進展予想曲線”とは、任意の板厚(d(mm))と装置材料の余寿命算定式として増子昇氏によって提案された式(3)から得られる所要年数をグラフにプロットし、それらを滑らかに結んだものである。

$$t_L = (d_{i\%} / X)^{1/n} (t_T - t_i) \quad (3)$$

ここに t_L:腐食到達予想年次(年)
 d_{i%}:部材厚のi(10~100%)にあたる肉厚(mm)
 X:式(2)より補正した板厚減肉量(mm)
 t_T:腐食進展期間(年), t_i:腐食潜伏期間(年)

なお、“保守限界”の量的な基準は、「板厚減量が50%となったときの年数」とし、A橋の場合では腐食データ測定後直ちに“再塗装”を行ったものとする。

また、局部腐食の潜伏期間については、その不確実性から、下表のように変化させてその影響度を考察することとした。

表-4 解析パターン

解析パターン	進展期間	潜伏期間	腐食形態	補修方法
A(A')	30	10	局部腐食	再塗装のみ
B(B')	20	20		
C	60	20		
D	90	20		
E	40		平均腐食	補修せず

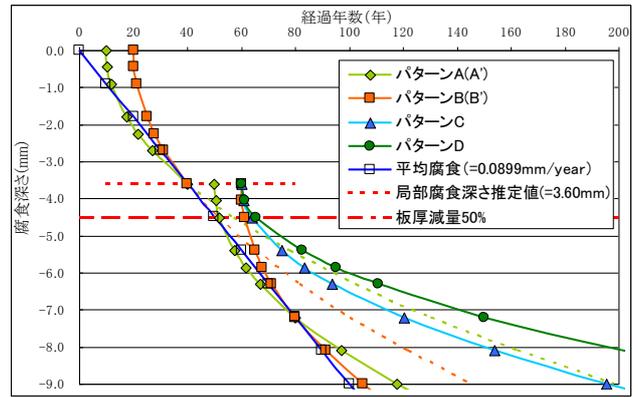


図-4 数値解析結果

5. 考察

図-4 から明らかなように、潜伏期間が短い(建設後早期に腐食が発生する)場合には建設時と同様の塗装を施した(A→A')だけでは、腐食を放置した場合よりも早く保守限界板厚に達しているが、潜伏期間が長い場合(B→B')では、腐食への措置を塗装のみとしても保守限界までの到達期間を20年ほど遅延させていることが確認できる。しかし長期的な視点から見ると、同様の塗装を施した場合よりも防錆効果を高めた場合(パターンCまたはD)の方が年次板厚減少量はゆるやかであり、腐食環境の根本的な改善を図ることが同様の措置(再塗装等)を継続するよりも経済的かつ有効であると考えられる。

したがって、A橋のように比較的早期に腐食損傷が生じた場合は、腐食要因を究明し、より防錆効果の高い措置を講じることが橋梁の延命化につながると考えられる。また、この手法により長期的な視野から橋梁の特徴を踏まえた橋梁の経年損傷度を比較的簡易に予測することができることから、より能動的かつ時宜を得た維持管理につながると考えられる。

参考文献

- 国土交通省「道路 予防保全の推進 一予防保全の取り組み一」(http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf)
- 腐食防食協会編：『装置材料の寿命予測入門—極値統計の腐食への応用—』, 丸善, 1984.5
- 腐食防食協会の装置材料の寿命予測(Ⅱ)分科会 編：『防食技術 第37巻 第12号』, 腐食防食協会, 1988.12, pp.768~773
- 村中昭典, 皆田理, 藤井堅：「腐食鋼板の表面性状と残存耐力」, 構造工学論文集 Vol.44A, pp.1063~1071, 1998.3
- 建設省道路局 監修, 建設省土木研究所 設計：『道路橋標準設計図集(2)』, 日本道路協会, 1963.11
- 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理, 武田達也, 水津紀陽：「鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究」, 国総研資料 No.294, 2006.1