

### 粒子フィルタを用いた橋梁の腐食に対する維持管理計画

岡山大学大学院	非会員	石故有生也
岡山大学大学院	正会員	柴田俊文
松江工業高等専門学校	正会員	大屋 誠
松江工業高等専門学校	正会員	武邊勝道
松江工業高等専門学校	正会員	広瀬 望

#### 1. はじめに

本論文では橋梁の腐食を対象とし、維持管理に生じる費用の算出と補修時期の予測を行う。腐食減耗量の算定には粒子フィルタを用い、測定された腐食減耗量・さび厚より、腐食減耗量の予測式に用いられているパラメータを同定する。そして、その同定値を用いることで腐食減耗量の予測を行い、対象橋梁の耐用年数に関し補修時期と補修回数、補修費用を算出することで、対象橋梁のライフサイクルコスト (LCC) を求めることを目的とする。

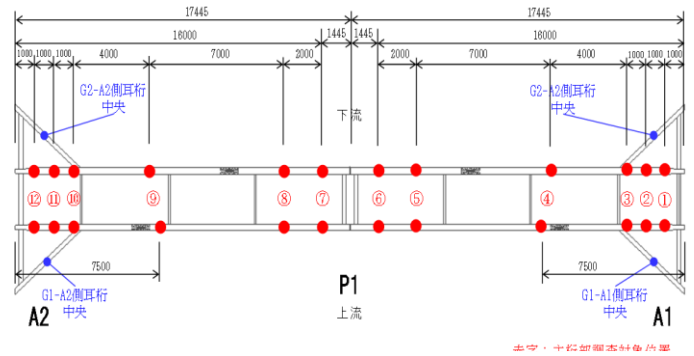


図-1 鋼桁の腐食減耗量の観測点

#### 2. 数値解析

本論文では既存の橋梁を対象に鋼材の腐食減耗量の予測を行い、LCC を求める。図-1 に解析に用いた橋梁の腐食減耗量の観測点を示す。以下に解析の概要を記述する。

##### 2.1 粒子フィルタと粒子の作成

粒子フィルタは、モンテカルロ法を基本とした逆解析手法であるため、支配方程式が非線形の場合にも良好な適用性を示し、尤度を計算することで同定パラメータの事後の確率分布を算定することが可能である。そのため、パラメータ同定を実施すると同時に、定めた基準に対する超過確率を求めることができる。本論文では腐食減耗量の予測式に含まれるパラメータ  $A$ ,  $B$  を同定する。粒子フィルタには SIS を用いて解析を行う。

腐食減耗量は、橋梁部材の腐食による片側の板厚減少量に対応し、さび厚と強い相関がある。橋梁の腐食減耗量の予測式は式(1)で示される<sup>1)</sup>。

$$Y = AX^B \tag{1}$$

ここで、 $Y$  は腐食減耗量、 $X$  は経過年数、 $A$ ,  $B$  はパラメータを示す。対象橋梁によっては腐食減耗量の測定データがなく、さび厚の測定データのみ測定されている場合があり、その場合は式(2)よりさび厚から腐食減耗量への変換<sup>1)</sup>を行う。

$$Y = 6 \times 10^{-10} h^3 - 7 \times 10^{-8} h^2 + 0.0003h \tag{2}$$

ここで  $Y$  は腐食減耗量(mm)、 $h$  はさび厚( $\mu\text{m}$ )である。パラメータ  $A$ ,  $B$  の粒子は一様乱数により 100,000 個作成する。その際、粒子の範囲は 41 橋のデータ<sup>1)</sup>を基準とし、このデータのパラメータ  $A$ ,  $B$  の変動係数より決定する。また、 $A$ ,  $B$  の初期設定値については、パラメータ  $A$  は初年度腐食減耗量を、パラメータ  $B$  は(1)式より求めた値を平均値として、粒子の分布範囲の設定を行う。41 橋のデータを基準に、パラメータ  $A$  の偏差は初期設定値の 100%、パラメータ  $B$  の偏差は初期設定値の 26.3%とする。更に腐食減耗量の測定データが少な

キーワード 腐食減耗量, 予測, 粒子フィルタ, LCC

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科 TEL/FAX 086-251-8154/8881

く、パラメータ  $A$ ,  $B$  の初期設定値を求めるのが困難な場合は次の式(3)により求める<sup>1)</sup>。

$$B = -4611.3A^3 + 769.19A^2 - 32.421A + 1.0109 \tag{3}$$

### 2.2 LCCの算定

橋梁の腐食減耗量を基準として改修時期を予測する場合、耐用年数 100 年間の場合は 0.5mm を超える腐食減耗量が生じる時期に、50 年間の場合は 0.3mm を超える時期に補修を行うのが適切である。本論文では既存の橋梁を対象とし、維持管理の費用に焦点を当て LCC を計算する。そのため、補修費用とその生起確率より塗装時期の予測を行い、塗装塗り替え回数を算出することで必要となる維持管理費用の総額を求める。生起確率は上記の基準の腐食減耗量 (0.3mm, 0.5mm) と重み付き平均より計算する。LCC は式(4)で算出される。

$$LCC = C_i + P_m C_m \tag{4}$$

ここに、 $C_i$  : 橋梁の初期建設、 $P_m$  : 維持管理費用の生起確率、 $C_m$  : 維持管理費用、である。維持管理費用は防食としての塗装の塗り替えを考え、実際の塗装単価を参考に塗装費用は 10,000 円/m<sup>2</sup> とし<sup>2)</sup>、**図-1** の補修面積と塗装単価、補修回数、超過確率の積より維持管理費用を算定する。

### 3. 解析の条件と結果

対象橋梁の各観測点 (**図-1**) において、使用開始から 28 年目のさび厚の測定が行われている。ここで腐食減耗量の測定データを有していないため、式(2)を使用して腐食減耗量に変換し、28 年目の腐食減耗量とする。式(1)と式(3)よりパラメータ  $A$  と  $B$  の初期設定値を求め、**2.1** で述べた偏差に基づき粒子の作成範囲を決定する。本論文では一様乱数で 100,000 個の粒子を作成した。

**表-1** 粒子作成の設定値

さび厚	1500 $\mu$ m	600 $\mu$ m
腐食減耗量(mm)	2.3175	0.2844
$A$ の初期設定値	0.0872	0.0356
$A$ の偏差	0.0872	0.0356
$B$ の初期設定値	0.975	0.624
$B$ の偏差	0.256	0.164

**表-1** に、対象橋梁の観測点で得られたさび厚と、その点での粒子作成の設定値を示す。ここでさび厚 1500 $\mu$ m と 600 $\mu$ m が得られている点は、例えば**図-1**①の腹板および②の外側下フランジプレート上面である。

**表-2** に解析結果を示す。ここで耐用年数 50 年間 (腐食減耗量の基準 : 0.3mm) と 100 年間 (0.5mm) の結果を示す。さび厚 600 $\mu$ m の点は超過確率が 30%前後であるが、1500 $\mu$ m を超える部材では、100%に近い確率で基準の腐食減耗量を超過することがわかる。また、さび厚 1500 $\mu$ m の地点では、基準を超える回数も多いのが確認できる。**表-3** は**表-2** の結果に基づき、維持管理費用を試算した結果である。耐用年数 50 年間の基準に基づき補修計画を立てた場合、維持管理費用が安価になっていることが確認できる。

**表-2** 解析結果

さび厚	1500 $\mu$ m	600 $\mu$ m
重み付き平均 ( $A$ )	0.0939	0.0348
重み付き平均 ( $B$ )	0.943	0.613
0.5mm 超過間隔 (年)	6	78
0.5mm 超過回数 (回)	16	1
0.3mm 超過間隔 (年)	4	34
0.3mm 超過回数 (回)	12	1
0.5mm 超過確率 (%)	99.62	27.84
0.3mm 超過確率 (%)	99.56	30.46

**表-3** 維持管理費の試算

さび厚	面積 (m <sup>2</sup> )	維持管理費用 (円)	
		100 年間	50 年間
1500 ( $\mu$ m)	60.53	9,647,040	7,231,163
600 ( $\mu$ m)	2.48	6,893	7,541
橋梁全体	253.57	12,729,814	9,916,772

### 4. おわりに

粒子フィルタを用い、橋梁の腐食減耗量を用いることで維持管理の計画を立案する方法を提示した。実橋梁のさび厚を使用して維持管理費用を算出し、耐用年数の設定による維持管理費用の差を確認することができた。

### 参考文献

- 1) 社団法人 日本鋼構造協会, 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, 2006.
- 2) 松崎靖彦, 麻生稔彦, 大屋誠, 耐候性鋼橋梁と他の防食方法を用いた場合の鋼橋 LCC のケーススタディ, 土木構造・材料論文集, 第 23 号, 2007.