

1. はじめに

社会基盤施設において蓄積される点検データの多くは現場管理者による目視点検の結果であり、目視点検データの活用を目的として、今日まで数多くの統計的劣化予測手法が開発されてきた。橋梁の床版においても、「遊離石灰法に基づくRC床版の劣化予測および補修優先順位」¹⁾など、さまざまな劣化予測手法の開発が行われてきた。しかしながら、現在、床版の劣化予測手法の開発に用いられるデータは床版の下面に対する目視点検におけるものであり、塩害等の影響による劣化状況を正確に予測するためには、床版の上面からくる劣化についても考慮し、複合的な劣化予測を行う必要がある。

本研究では、従来の床版下面パネル判定データに加え、橋梁の路面データを利用した床版上面パネル判定データを獲得することで得られた複合パネル判定データを用いてマルコフ劣化ハザードモデルによる推計を行い、RC床版のパネル単位からなる劣化機構を調べ、マルコフ推移確率行列を用いた算出した複合スパン判定における期待寿命を求める。

2. マルコフ劣化ハザードモデル

健全度 $i(i=1, \dots, I-1)$ における、床版の劣化速度を規定する標準ハザード率は、

$$\lambda_i = \exp(\bar{\mathbf{x}} \boldsymbol{\beta}_i') (i=1, \dots, I-1) \quad (1)$$

で定義される。ただし、 n は考慮した特性変数の数、 $\bar{\mathbf{x}}$ は床版の劣化速度に影響を及ぼすと考えられる床版の構造特性や環境条件を表す特性変数 $\boldsymbol{\beta}_i$ は未知パラメータによる行ベクトル、記号「 $'$ 」は転置操作を表す。指数ハザードを用いた場合、健全度が i から j に推移するマルコフ推移確率 $\pi_{ij}(z)$ はハザード関数 λ_i と調査間隔 z のみに依存し、健全度 i を獲得した調査時刻 τ_i と健全度

表-1 データ概要

総橋梁数	26	
供用開始年	1950～1983	
総径間数	117	
総サンプル数	上面パネル判定	4164
	下面パネル判定	1649
	複合パネル判定	1693

$j(>i)$ を獲得した調査時刻 $\tau_j = \tau_i + z$ に関する情報を用いなくとも推移確率を推定することができる。指数ハザード関数を用いて、健全度が i から j に推移するマルコフ推移確率 $\pi_{ij}(z)(i=1, \dots, I-1; j=1, \dots, I)$ は、

$$\pi_{ij}(z) = \sum_{m=i}^j \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} \exp(-\lambda_m z) \quad (i=1, \dots, I-1; j=i+1, \dots, I) \quad (2)$$

と表すことができる。ただし、表記上の規則として、

$$\begin{cases} \prod_{s=i}^{m-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_s - \lambda_m} = 1 & (m=i \text{ の時}) \\ \prod_{s=m}^{j-1} \frac{\lambda_s}{\lambda_{s+1} - \lambda_m} = 1 & (m=j \text{ の時}) \end{cases}$$

が成立すると考える。

3. 実証分析

2. に記載したマルコフ劣化ハザードモデルを西日本高速道路が管理する RC 床版の舗装路面・上面パネルおよび下面パネルにおける目視点検データに適用し、推計を行う。データの概要を表-1 に示す。適用した橋梁数は 26 橋であり、総径間数は 117 である。本来、上面パネル判定データは、劣化が進行している橋梁に対して詳細調査や補修の時期を知るために行う調査である。そのため、下面パネル判定データに比べて上面パネル判定データの獲得数は 1649 と少なく、それに伴って複合パネル判定データの獲得数も 1693 という結果が得られている。建設時点に関するデータが利用可能であるため、建設時点から最初の調査時点までの期間、調査

表-2 複合パネル判定

複合パネル判定		舗装路面・床版上面パネル			
		S 4	S 3	S 2	S 1
床版下面パネル	AA	SS	SS	SS	SA
	BB	SS	SS	SA	SB
	CC	SS	SA	SB	SC
	DD	SA	SB	SC	SD
	EE	SB	SC	SD	SE

表-3 複合スパン判定

健全度評価	床版の状況	実施判断
Vf	SB 以上のパネルが 40%以上	早急な更新
IVf	SB 以上のパネルが 30%以上	早期の更新
III f	SC 以上のパネルが 40%以上	近い将来に更新
IIf	SC 以上のパネルが 30%以上	予防保全
I f	SC 以上のパネルが 30%未満	予防保全

時点から次の調査時点に至るまでの期間のそれぞれを 1 単位のサンプルデータと定義し、サンプル数の中に含めている。また、複合パネル判定の指標を表-2 に示す。また、表-3 のように、表-2 により得られた複合パネル判定を用いることで複合スパン判定を行うことができる。表-3 の複合スパン判定は、複合パネル判定の結果を供用からの経過時間と健全度の推移状態の割合を表すマルコフ推移確率行列を用いることで算出することができる。推計では、上面と下面に対して影響を及ぼすと考えられる説明変数を検討した。具体的には、1) コンクリート作成時の海砂の使用、2) 最小床版厚、3) 床版支間長、4) 斜角最小角、5) ASR の有無、6) 大型車交通量、7) 凍結防止剤散布量、8) スパン連結部材による車輪跳ね上げの影響、9) 走行車線上か否か、10) 打継部を含むか否かである。

現在データは獲得中であり、発表時とは推計結果が大きく異なると考えられるため、推計結果の詳細は発表時に詳しく行うが、一部推計結果として、パネル位置が走行車線か否かによる劣化速度の差異に着目した期待劣化パスを図-2 に示している。図-2 の横軸は供用時点からの経過時間であり、縦軸はパネル判定となっている。走行車線上のパネルと走行車線上以外のパネルとでは、期待寿命に約 32 年の差異が見られる。

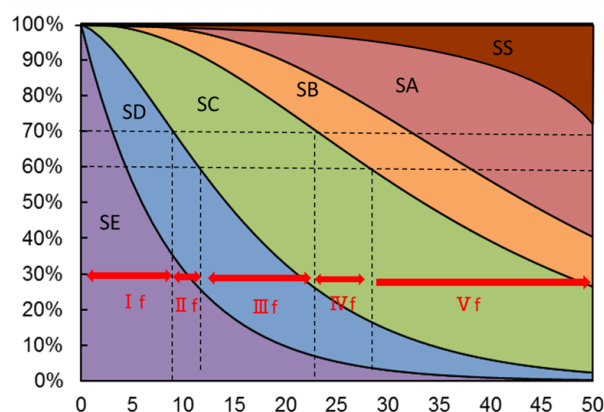


図-1 マルコフ推移確率を用いたスパン判定方法

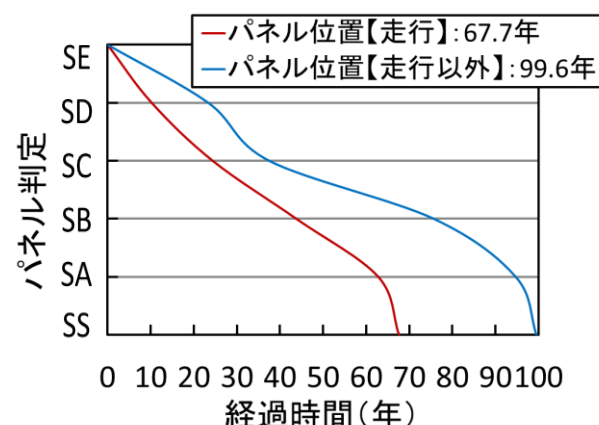


図-2 走行車線による差異に着目した期待劣化パス

4. まとめ

本研究では、これまで下面パネル判定データのみを用いて劣化予測を行ってきた RC 床版に対して、上面パネルデータを考慮した複合パネル判定データを含めた劣化予測による劣化機構の把握を行い、マルコフ推移確率を用いたスパン判定における期待寿命の算出を行う。今後の課題として、橋梁単位や管理事務所単位での施設個々の劣化予測や潜在変数を用いた上面パネル判定データと下面パネル判定データの同時推計による複合パネル判定の算出などが挙げられる。

【参考文献】

- 1) 貝戸清之，福田泰樹，起塚亮輔，橋爪謙治，出口宗浩，横山和昭：遊離石灰法に基づく RC 床版の劣化予測および補修優先順位の決定，土木学会論文集 F4，Vol. 68，No. 3，pp. 123-140，2012. 10