

RC 床版の総合的劣化評価手法

大阪大学大学院
大阪大学大学院

学生会員 ○水谷 大二郎
正会員 貝戸 清之

1 はじめに

社会基盤施設の中には、複数の部材・要素により構成され、その部材・要素群が、点検・補修における1単位となっているものがある。そのような社会基盤施設に対しては、各要素の劣化状況を加味した上で、点検・補修単位毎に総合的な意思決定を行う必要がある。例えば、本研究で適用事例として取り上げる高速道路橋 RC 床版は、1 径間を点検・補修単位としているが、1 径間は複数の RC 床版のパネルで構成されている場合が多い。本研究の適用事例では、パネル毎の点検データを用いて、径間単位での意思決定を支援するような評価手法の開発を行う。点検データの獲得単位と点検・補修単位が異なる場合、図 1 のようなケースに対応する必要がある。同図で RC 床版の総合評価問題を 2 種類の径間の例をあげて説明する。本研究で対象とする RC 床版では、離散的な健全度（供用開始時点と健全度 1 とし、以降劣化が進展するとともに健全度 2, 3, … と推移）を用いたパネル単位での点検が実施されている。同図の 2 種類の径間はともに 12 個のパネルで構成されており、各矩形中の数字はある点検時点での当該パネルの健全度を表す。径間 A では、健全度 1 のパネルが 8 個、健全度 2 のパネルが 4 個観測されている。一方で、径間 B では、健全度 1 のパネルは 11 個と、径間 A と比較して少ないが、径間 B では健全度 3 のパネルが 1 つ観測されているため、径間 A と径間 B を単純に比較することはできない。両者の比較のためには、各径間のパネルの全ての健全度を総合化したような指標を用いた径間単位の総合評価手法を開発する必要がある。

2 点検・取替単位での総合的劣化評価モデル

RC 床版を対象として、径間単位の総合的評価手法を提案する。本研究での提案手法は、1) マルコフ劣化ハザードモデル [1] を用いたパネル単位での統計的劣化予測プロセス、2) 推定されたマルコフ推移確率を用いた総合評価プロセスに大別される。本稿では、2) の総合評価プロセスを重点的に説明するため、マルコフ劣化ハザードモデルの詳細は、参考文献 [1] を参照されたい。

1	1	1	1
1	2	2	1
1	1	2	2

径間 A

1	1	1	1
1	1	3	1
1	1	1	1

径間 B

図 1: 単純比較が不可能な 2 つの径間

いま、パネル単位での点検データを用いてマルコフ劣化ハザードモデルが推定され、健全度 i から j へのマルコフ推移確率 p_{ij} が与件とする。ここで、ある点検時刻 τ_0 で、ある径間を構成する全てのパネルの健全度が獲得された場合を考えよう。当該径間は N 個のパネル（パネル 1, パネル 2, …, パネル n , …, パネル N ）で構成されている。時刻 τ_0 におけるパネル n ($n = 1, \dots, N$) の健全度を $h_n(\tau_0) = i_n$ と表現する。時刻 τ_0 でのパネル n の劣化状態を表す状態ベクトル $\mathbf{S}_n(\tau_0)$ を、

$$\mathbf{S}_n(\tau_0) = (\delta_{i_n}^1, \dots, \delta_{i_n}^i, \dots, \delta_{i_n}^I) \quad (1)$$

と表現する。ここに、 $\delta_{i_n}^i$ はダミー変数であり、

$$\delta_{i_n}^i = \begin{cases} 1 & i = i_n \\ 0 & i \neq i_n \end{cases} \quad (2)$$

である。次に、将来のある時刻を τ_1 とする。最終的には、時刻 τ_1 での健全度を用いて、RC 床版の総合評価を行う。時刻 $\tau_1 (= \tau_0 + x)$ での各パネルの健全度分布を求める。期間 x でのパネル n の劣化の進展は、マルコフ推移確率行列 $\boldsymbol{\pi}_n(x)$ を用いて表現することができ、マルコフ推移確率行列 $\boldsymbol{\pi}_n(x)$ は、

$$\boldsymbol{\pi}_n(x) = \begin{bmatrix} \pi_{11,n}(x) & \cdots & \pi_{1I,n}(x) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \pi_{II,n}(x) \end{bmatrix} \quad (3)$$

と表現され、 $\pi_{ij,n}(x)$ は、マルコフ劣化ハザードモデルを用いて算出できるパネル n の健全度のマルコフ推移確率である。状態ベクトル $\mathbf{S}_n(\tau_0)$ とマルコフ推移確率行列 $\boldsymbol{\pi}_n(x)$ を用いて、パネル n の時刻 τ_1 での健全度分布

Keywords: アセットマネジメント, 総合評価, 統計的劣化予測手法, マルコフ劣化ハザードモデル

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 S1 棟 612 号室 TEL: 06-6879-7622

Email: d-mizutani@civil.eng.osaka-u.ac.jp

を以下のように表現することができる。

$$(\pi_n^1(\tau_1), \dots, \pi_n^i(\tau_1), \dots, \pi_n^I(\tau_1)) = S_n(\tau_0) \cdot \pi_n(x) \quad (4)$$

なお、 $\pi_n^i(\tau_1)$ は、パネル n が時刻 τ_1 に健全度 i である確率を表す。ここで、RC 床版を管理するにあたり早急に補修を要するような限界健全度を $I'(\leq I)$ とする。確率 $\pi_n^i(\tau_1)$ を用いることにより、任意の時刻 τ_1 までに、1 つでも I' 以上の健全度が観測される確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ は、

$$\bar{\pi}(\tau_1, I') = 1 - \prod_{n=1}^N \left\{ \sum_{i=1}^{I'-1} \pi_n^i(\tau_1) \right\} \quad (5)$$

と表現できる。この確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ は、目視点検データを用いた統計的理論により絶対的な指標として用いることができ、さらに、確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ を各径間で算出し、相对比较することにより、任意の将来時刻 τ_1 における径間単位での総合評価結果の相对比较を行うことができる。

3 適用事例

3.1 マルコフ劣化ハザードモデルの推定

提案した総合的評価モデルを RC 床版の点検データに適用する。提案モデルでは、まず、獲得された点検データを用いて、マルコフ劣化ハザードモデルを推定する。このとき、マルコフ劣化ハザードモデルは、点検単位であるパネル単位の健全度の推移を表現する。本適用事例において、39,429 パネルの点検データから 55,802 個の健全度ペアサンプルがマルコフ劣化ハザードモデル推定のために作成可能であった。これらの点検データサンプルを用いて、マルコフ劣化ハザードモデルを推定した。説明変数としては、径間長、年平均凍結防止剤散布回数、年平均大型車交通量、構造形式、コンクリートの打継部か一般部か、の 5 種類の観測値を考慮することができた。図 2 には、推定結果の一例として、の一般部と打継部の違いに着目したパネル単位の期待劣化パスを示した。一般部のパネルと比べ打継部のパネルにおいて期待寿命が短いことが定量的に評価できる。また、マルコフ劣化ハザードモデルの推定により、各説明変数を設定したときのマルコフ推移確率を算出できる。このマルコフ推移確率を用いて、次節で径間単位の総合的劣化評価を行う。

3.2 総合的劣化評価モデルを用いた分析結果

3.1 で求めたマルコフ推移確率を用いて、総合的劣化評価モデルにおける管理指標である、確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ を求める。確率確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ は時間に依存して変化する。本適用事例においては、2014 年 2 月 17 日時点での確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ を 2,430 径間に対してそれぞれ算出した。なお、限界健全度は $I' = 4$ と設定した。図 3 には、対象とした

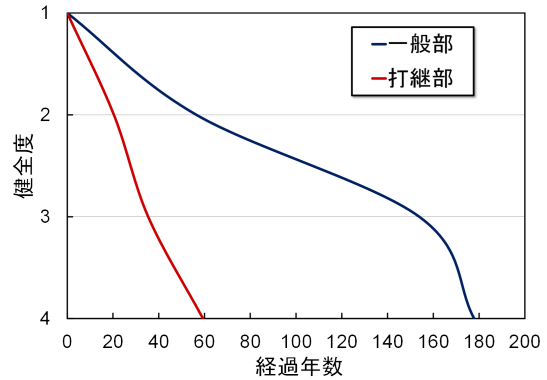


図 2: パネル単位での期待劣化パス

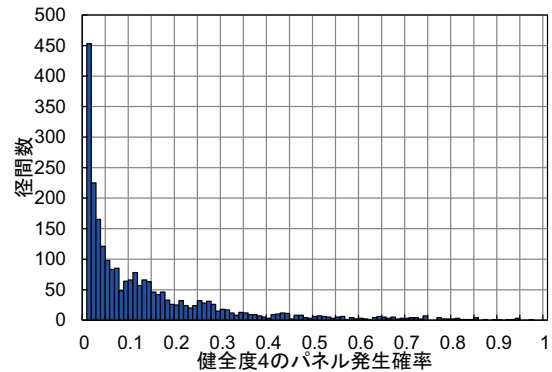


図 3: 確率 $\bar{\pi}(\tau_1, 4)$ の頻度分布

全 2,430 径間における確率確率 $\bar{\pi}(\tau_1, 4)$ の頻度分布を示した。このように、径間単位で管理指標となる確率確率 $\bar{\pi}(\tau_1, I')$ を算出することにより、径間単位での劣化状況の相对比较、点検・補修優先順位の決定が可能となる。

4 おわりに

本研究では、複数の部材・要素で構成された社会基盤施設の総合的劣化評価手法を提案した。さらに、提案手法を実際の RC 床版点検データに適用し、その有用性を示した。本研究での総合的劣化評価モデルの開発により、点検データ獲得単位と点検・補修単位間の乖離を埋めることができる。さらに、本研究の適用事例のように、詳細な点検データが獲得されている場合、それらの情報を劣化予測プロセスで総合化する場合と比べ、意思決定プロセスで総合化する提案モデルの方が、獲得された情報を多く意思決定に利用できると考える。一方で、今後の課題としては、1) 先述の意思決定に利用できる情報量の定量的検証、2) より汎用的な管理指標の提案、があげられる。

参考文献

- [1] 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.69-82, 2005.