

第VI部門

橋梁 RC 床版の集計的リスク評価

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○田中 晶大, 水谷 大二郎

西日本高速道路株式会社 松井 隆行, 宮田 弘和

大阪大学大学院工学研究科 正会員 小濱 健吾, 貝戸 清之

1. はじめに

高速道路橋の RC 床版を維持管理する際、点検を行う最小単位（以下、点検単位）と、補修を行う最小単位（以下、補修単位）が異なる場合がある。本研究では、主桁と横桁に囲まれた区間をパネル、隣接する橋脚間の上下線単位をスパンと定義する。このとき、複数のパネルから 1 つのスパンが構成される。個々のパネルを点検単位、スパンを補修単位とする。従来、スパン内の各パネルの健全度をスパン単位の健全度に集約し、スパン単位の健全度のみを用いて劣化評価を行っていた。しかし、このとき、実際のスパンの劣化状態を詳細に評価できない可能性がある。また、パネル単位での詳細な劣化状態をパネル単位での健全度情報として考慮し、点検や補修の意思決定を行うことが望ましい。本研究では、点検単位の健全度情報を点検や補修の意思決定に直接的に用いるための方法論を統計的劣化予測モデルと確率過程モデルにより提案する。

2. 劣化予測手法

マルコフ劣化ハザードモデル²⁾を用いてパネル単位の劣化予測を行う。そして、同モデルを推定する際に獲得されるマルコフ推移確率を用いて、任意時点におけるスパン内の各パネルの健全度の同時生起確率を多項分布で表現した集計的劣化過程モデルを開発する。なお、マルコフ劣化ハザードモデルに関する説明は参考文献²⁾に譲る。これにより、各パネルの劣化過程を考慮した上で、スパン内のパネルの健全度ごとのパネル枚数（以下、健全度パターン）の時間的推移を確率過程として表現できる。さらに、リスク管理指標を定義することによりスパン単位の劣化状態を評価する。また、スパン単位の相対的劣化評価により、点検や補修の優先順位付けを実施する。

3. 集計的劣化過程モデル

カレンダー時刻 t_0 を初期時点とする離散的時間軸を $\tau_{h+1} = \tau_h + z$ ($h=0,1,2,\dots$) と定義する。パネル毎の劣化特性を表現する可観測カテゴリ c ($c=1,\dots,C$) を定義する。時点 τ_h において、スパン s ($s=1,\dots,S$) 内で健全度が i となるカテゴリ c のパネル数の期待値を $v_{s,c,i}(\tau_h)$ と表す。スパン s 内のカテゴリ c 内の健全度 i のパネルが占める割合を示す期待相対頻度ベクトルの要素を $\psi_{s,c,i}(\tau_h) = v_{s,c,i}(\tau_h) / \bar{l}_{s,c}$ と表現する。なお、 $\bar{l}_{s,c}$ はスパン s のカテゴリ c のパネルの総数である。ここで、期待相対頻度 $\psi_{s,c,i}(\tau_h)$ とマルコフ推移確率 π_{ij} を用いると、時点 τ_{h+1} における期待相対頻度ベクトルの要素は、

$$\psi_{s,c,i}(\tau_{h+1}) = \sum_{b=1}^I \psi_{s,c,b}(\tau_h) \pi_{bi}(z; s, c) \quad (1)$$

と表現できる。時点 τ_{h+1} でのスパン s でのカテゴリ c の健全度 i のパネル数を $\varepsilon_{s,c,i,\tau_{h+1}}$ とする。健全度パターン $\varepsilon_s = (\varepsilon_{s,1,1,\tau_{h+1}}, \dots, \varepsilon_{s,C,I,\tau_{h+1}})$ を確率変数と捉え、その生起確率を多項分布で表現すると、

$$f(\varepsilon_s, \tau_{h+1}; \psi_s(\tau_{h+1})) = \prod_{c=1}^C \frac{\bar{l}_{s,c}!}{\varepsilon_{s,c,1,\tau_{h+1}}! \cdots \varepsilon_{s,c,I,\tau_{h+1}}!} \left\{ \psi_{s,c,1}(\tau_{h+1}) \right\}^{\varepsilon_{s,c,1,\tau_{h+1}}} \cdots \left\{ \psi_{s,c,I}(\tau_{h+1}) \right\}^{\varepsilon_{s,c,I,\tau_{h+1}}} \quad (2)$$

となる。本研究では、この確率過程モデルを集計的劣化過程モデルと呼ぶ。これにより、任意の健全度パターン集合の生起確率をリスク管理指標として算出することができる。

4. 適用事例

(1) 適用データ諸元の概要

高速道路橋の RC 床版を分析対象とする。対象とする橋梁は 1963 年から 1989 年の間に供用が開始されており、1986 年から 2014 年にかけてパネルごとに実施された目視点検の結果、9,801 データが電子形式で保存されていた。また、パネルの補修直後に健全

Akihiro TANAKA, Daijiro MIZUTANI, Takayuki MATSUI, Hirokazu MIYATA, Kengo OBAMA and Kiyoyuki KAITO

Email : a.tanaka@civil.eng.osaka-u.ac.jp

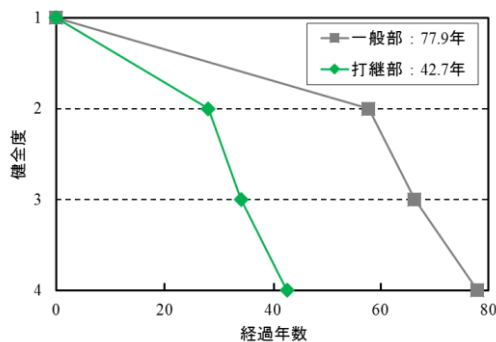


図-1 期待劣化パス

度 1 の状態に回復すると仮定して 1,388 個の補修全データをマルコフ劣化ハザードモデルの推定用サンプルに付加した。本研究では、パネル単位の損傷度を、目視点検に基づき 4 段階の離散的な健全度として扱っており、評価手法は参考文献³⁾を参照されたい。また、健全度は、その数値が大きくなるほど劣化が進展している状態を表している。これらの観測データより推定に用いるサンプルを作成すると、5,423 パネルに関して 13,803 個のサンプルが獲得された。

(2) 分析結果

獲得されたサンプルを用いてマルコフ劣化ハザードモデルを推定する。対象データ内の複数の項目を特性変数として、特性変数ごとに推定したモデルの AIC を比較した結果、モデルの説明力が最も高い特性変数は、「コンクリートの打継目が存在するかどうか」であった。そこで、打継目の存在するパネルを打継部、存在しないパネルを一般部と呼び、それぞれの劣化過程を図-1 に期待劣化パスとして表現する。同図より、打継部と、一般部が管理限界に達するまでの期待寿命の差が、35.2 年であることから、パネル単位で異なる情報を考慮することの有用性が見て取れる。また、推定されたマルコフ推移確率と集計的劣化過程モデルを用いて、スパン単位の劣化状態の推移が評価される。本研究では、図-2 に示すように健全度パターン毎のリスク管理指標を算出した。ここでは 15 年後、健全度 4 のパネルが 1 枚以上発生する確率をリスク管理指標として定義しており、対象とするスパンは 12 個のパネルで構成されているとする。個々のセルの位置は現在の健全度パターンを示しており、セル内の数値がリスク管理指標を表す。例え

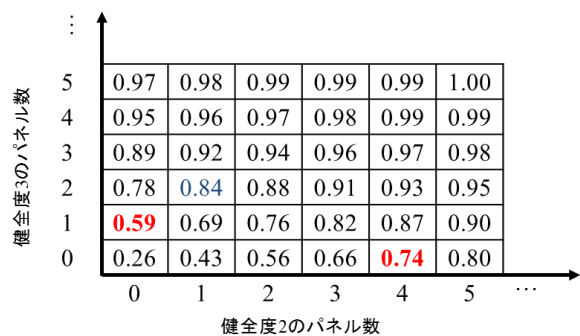


図-2 健全度パターン毎のリスク管理指標

ば、同図の青字のリスク管理指標では、現時点で、健全度 1 のパネルが 9 枚、健全度 2 のパネルが 1 枚、健全度 3 のパネルが 2 枚のとき、15 年後に健全度 4 のパネルが 1 枚以上発生する確率（リスク管理指標）は 0.84 となる。このように、リスク管理指標を定義することにより、現在の健全度パターンから将来時点でのスパン単位の劣化状態が評価される。また、リスク管理指標の相対評価により点検や補修の優先順位を決定できる。例えば、赤字のリスク管理指標を相対評価すると、リスク管理指標が 0.74 の方が大きい値を示しているため、15 年後では、そのスパンを優先的に点検や補修することが望ましいと分かる。

5. おわりに

本研究では、点検単位の劣化状態を考慮した上で、補修単位の劣化状態を評価するための集計的劣化過程モデルを開発した。また、同モデルに基づき設定されたリスク管理指標をもとに、補修単位の劣化状態を表現した。さらに、補修単位ごとの相対評価により点検や補修の優先順位付けを実施した。

【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,
- 2) 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,
- 3) 西日本高速道路株式会社: 保全点検要領 (構造物編), 2006,