

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○徐 磊  
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 二宮 陽平  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之

## 1. はじめに

床版上面に位置する舗装におけるひび割れ等は床版へ雨水を供給することにより、床版の劣化に影響を及ぼす。路面性状調査により舗装の健全度を観測できる。一方、床版の健全度は目視点検調査により観測できるが、多大な費用・交通規制を伴う。本研究では、RC床版の劣化確率に、舗装の劣化速度を考慮した劣化予測モデルを提案した上で、舗装の劣化速度による床版の最適な点検間隔の決定方法を示す。最後に、実際の高速道路を対象とした適用事例を通じて、提案モデルを実際に推計するとともに、実務への適用可能性と有効性について実証的に検証する。

## 2. モデルの定式化

本研究では、舗装の劣化進展が床版健全度の低下過程に影響を及ぼすと考える。舗装の劣化進行が速ければ、床版の劣化が加速されるという階層的関係が存在する。また、路面性状調査により舗装の健全度は観測できるが、床版の健全度は観測できない。以上の問題意識の下に、本研究では、新たな階層的隠れマルコフ劣化モデルを用いて、橋面舗装と RC 床版の複合的劣化過程を表現する。さらに、MCMC (Markov Chain Monte Carlo) 法を用いて、モデルのパラメータを推計する。

具体的には、舗装の劣化過程を斉次マルコフ過程として表現するとともに、床版の劣化過程を劣化速度が舗装の劣化速度に依存するような非斉次マルコフ過程として表現する<sup>1)2)</sup>。さらに、舗装健全度、床版健全度の複合的な劣化過程を、床版の劣化過程が舗装の劣化速度の影響を受けるような階層的マルコフ劣化モデルで表現する。また、路面性状調査と床版目視点検は、一般的に同時に実施されないため、本研究では、このような劣化過程の観測の非同期性を考慮した階層的隠れマルコフ劣化モデルを提案する。その中に、舗装健

全度のハザード率は、

$$\lambda^s = \exp(\mathbf{x}\boldsymbol{\beta}^s) \quad (1)$$

一方で、床版健全度のハザード率は、

$$\mu_{sl}^i = \exp(\varepsilon_{sl}/z)\exp(\mathbf{y}\boldsymbol{\gamma}^i) \quad (2)$$

ここで、 $s, l$  はそれぞれ舗装の事前健全度と事後健全度、 $\mathbf{x}$  は舗装の特性変数ベクトル、 $\boldsymbol{\beta}$  は斉次マルコフ過程の未知パラメータベクトルである。 $i$  は床版の健全度、 $\varepsilon_{sl}$  は舗装の劣化速度に依存する床版劣化速度の異質性を表すスケールパラメータ、 $z$  は点検間隔、 $\mathbf{y}$  は床版の特性変数ベクトル、 $\boldsymbol{\gamma}$  は非斉次マルコフ過程の未知パラメータベクトルである。

## 3. 分析結果

本研究では、実際の道路管理者から頂いた点検データを用いて、MCMC 法を援用し、提案したモデルの未知パラメータを推計した。

パラメータの推計結果により、図-1 は、舗装路面の期待劣化パスを表す。同図から明らかなように、健全度が大きくなるにつれて、ひび割れの進行速度が加速される。舗装健全度 1 の期待寿命は約 26 年、舗装健全度 2 の期待寿命は約 9 年、舗装健全度 3 の期待寿命は約 2 年である。舗装路面が健全度 1 から健全度 4 までの期待寿命は約 38 年である。現実より長いかもしれないが、本研究では、舗装におけるひび割れから、床版内へ雨水が浸入し、床版の劣化が加速されるという劣化メカニズムを考慮するため、舗装の損傷項目の中で、ひび割れだけに注目し、4 段階の舗装健全度を定義した。ひび割れ以外に、舗装はまだわだち掘れ、段差等の損傷項目がある。

一方で、図-2 では、舗装劣化速度ごとの床版パネルの期待劣化パスを示す。なお、本研究で用いたデータベース中に、路面性状調査は 2 年に 1 回行われているため、舗装の劣化速度は 2 年間隔を基準として設定さ

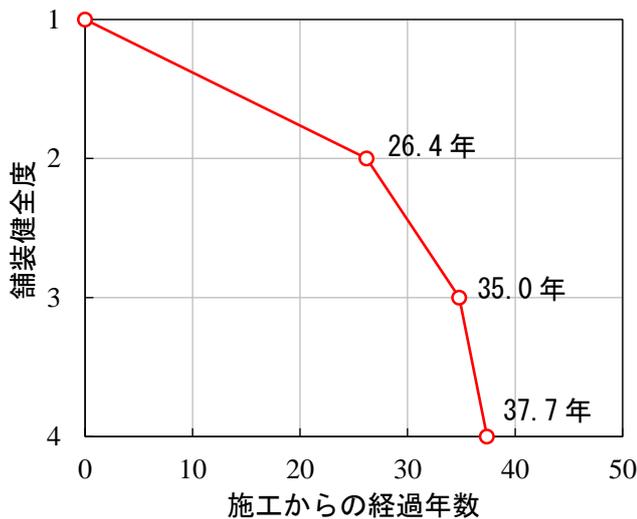


図-1 舗装路面の期待劣化パス

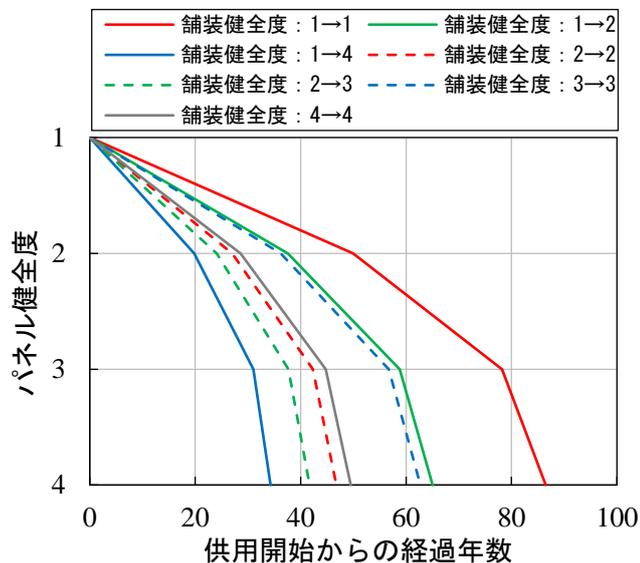


図-2 舗装劣化速度ごとの床版パネルの期待劣化パス  
 られている。同図より、舗装の劣化速度が最も速いパターン（舗装健全度：1→4）で、パネルの期待寿命は最も短くて、約34年である。一方で、舗装があまり劣化していないときに（舗装健全度：1→1）、パネルの期待寿命は最も長くて、約87年である。舗装の劣化進展が速くなるにつれて、パネルの期待寿命も短くなるという傾向が見られる。なお、パラメータの推計結果より、90%信頼区間に0を含むパラメータが棄却されたため、図-2の凡例中に、三つの舗装の劣化速度パターン（舗装健全度：1→3、2→4、3→4）を除外した。

#### 4. 床版の点検効率化

道路橋定期点検要領<sup>3)</sup>より、床版を常時健全な状態に保つため、スパン別損傷度がⅡとなった時点で予防保全の観点から措置を講じることが望ましい。図-3に

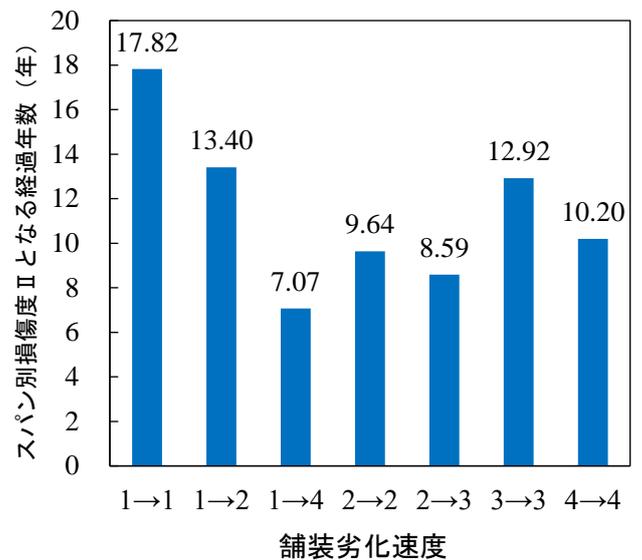


図-3 舗装劣化速度ごとにスパン別損傷度Ⅱとなる経過年数

は、シミュレーションを通して、床版が最も健全な状態（スパン内に全てのパネルが健全度1）から、舗装劣化速度ごとにスパン別損傷度Ⅱとなる経過年数を示している。例えば、目視点検時点でスパン別損傷度がⅡ以上となった床版に対して、発生された損傷によって、適切に補修する。一方で、健全な床版に対して、図-3に示している経過年数内に点検・補修することにより、床版を常時健全な状態に保つことができる。

#### 5. まとめ

本研究では、橋面舗装の劣化過程とRC床版の劣化過程で構成される複合的な劣化過程を階層的隠れマルコフ劣化モデルで表現し、その相互関係を実際の路面性状調査データ及び床版目視点検データを用いて実証的に検証した。しかし、今回の検討は1つの特定道路区間でしかなく、今後解析の対象を増やす必要がある。一方で、今後の課題として、本研究成果を実務で活用していくことが挙げられる。

#### 【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.68-82, 2005.
- 2) 小林潔司, 貝戸清之, 江口利幸, 大井明, 起塚亮輔: 舗装構造の階層的隠れマルコフ劣化モデル, 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No.4, pp.422-440, 2011.
- 3) 国土交通省道路橋: 道路橋定期点検要領, 平成26年6月.