

第VI部門

ポットホールの発生頻度に着目した高速道路橋 RC 床版の点検実施システム

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 非会員 徐 磊

大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之

1. はじめに

近年, 社会基盤施設の老朽化が急速に進行するに伴って, 点検業務の重要性が高まっている. しかし, 高速道路橋 RC 床版のように, 点検に多大な費用と高度な技術を必要とする社会基盤施設も存在する. 本研究では, RC 床版の点検の効率化を目的として, RC 床版のリスクに応じて適切な点検施策を講じるような点検実施システムを構築する. RC 床版の劣化は, 床版上面からの雨水の侵入により, 加速することが知られている. そこで, RC 床版の上面に位置する舗装路面において実施されている日常点検に着目し, それによって獲得されるポットホールの発生頻度から, RC 床版のリスクを推定できるような方法論を提案する. 具体的には, ポットホールの発生頻度と床版の劣化速度の相関性を, 過去の点検データを統計分析することにより定量的に明らかにし, ポットホールの発生頻度からスパンのリスクを表現できるような方法論を開発する.

2. 床版劣化過程のモデル化

本研究では, 床版の劣化過程を表現するために, 津田らが開発したマルコフ劣化ハザードモデル¹⁾を発展させたモデルを開発する. 具体的には, 床版パネルの健全度が任意の健全度 i から $i+1$ に推移する確率を表現するハザード率を, 床版上面の舗装路面におけるポットホールの発生状況との相関表現するパラメータを導入することにより,

$$\theta_i = \exp(\mathbf{x}\boldsymbol{\alpha}') \cdot \exp(n\delta) \quad (1)$$

と表現する. ここに, $\mathbf{x}$ は説明変数ベクトル, $\boldsymbol{\alpha}$ は未知パラメータベクトル, n は床版上面の舗装路面におけるポットホールの発生頻度, δ は床版の劣化速度への影響度を表現するスケールパラメータである. 記号「 $'$ 」は転置操作を表す. スケールパラメータの値が大きいほど, ポットホールの発生が床版劣化へより大きな影響を及ぼしていることを示す.

3. ポットホール発生過程のモデル化

Nam らはポットホールの発生がポアソン過程に従うと

考え, ポットホールの発生過程をモデル化している²⁾. 本研究においても, 下面の床版の健全度が j であるときに到着率

$$\lambda_j = \exp(\mathbf{y}\boldsymbol{\beta}_j') \quad (2)$$

で表されるポアソン発生モデルに従ってポットホールが発生していると考える. ここに, $\mathbf{y}$ は説明変数ベクトル, $\boldsymbol{\beta}_j$ は未知パラメータベクトルである.

4. 実証分析

高速道路会社が実際に記録している点検データに開発した方法論を適用した実証分析を実施する. 表-1 に本実証分析で用いた点検データの概要を示す. RC 床版の点検はパネル単位で数年ごとに定期的実施され, 4 段階の健全度が記録される. 健全度はその値が大きいほど, パネルの状態が悪いことを示す. また, スパンの状態はパネルの健全度を集計することにより表-2 のように定義される. 本研究では, スパン判定が早急な措置を講ずる必要のある状態である IV に達している確率をスパンのリスクと定義する. 一方で, 舗装路面の点検は日常的に実施され, ポットホールの発生位置が記録される.

以上の点検データを用いて, マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたベイズ推定により, モデルのパラメータを推定した. 各パラメータの事後分布からの確率標本の収束性を Geweke 検定によって検定し, 確率標本の分布が不変分布に収束していないという帰無仮説を, 全てのパラメータに関して有意水準 5% で棄却できないと判断した. よって, これらの確率標本の分布をパラメータの事後分布とし, その期待値をパラメータの推定値とした. 推定値からは, ポットホールの発生頻度と床版の劣化速度に正の相関があることが確認できた. そこで, 推定されたパラメータを用いて, 将来のポットホール発生状況を想定し, 実在するある 1 つのスパン S に対しての点検施策を提案する.

スパン S は 18 枚のパネルで構成され, 現在は 1 枚のパネルが健全度 1, 残り 17 枚のパネルが健全度 2 と判定さ

表-1 点検データ概要

スパン数	292
パネル数	6,479
パネルに対する 点検データ数	17,967
路面区間数(1区間:10m×1車線)	2,867
路面に対する 点検データ数	5,828

表-2 スパン判定基準

スパン判定	パネルの状況
I	健全度が2以上である床版パネルの 全床版パネルに対する割合が30%未満
II	健全度が2以上である床版パネルの 全床版パネルに対する割合が30%以上
III	健全度が2以上である床版パネルの 全床版パネルに対する割合が40%以上
IV	健全度が4である床版パネルの 全床版パネルに対する割合が30%以上
V	健全度が4である床版パネルの 全床版パネルに対する割合が40%以上

れている。スパンの将来のリスクを推定するためには、まずパネルの健全度が4に達する確率を算出する必要がある。これに際しては、将来的に路面の点検を継続しながら、その都度算出することができる。本研究では、将来のポットホール発生状況として1)シナリオA(ポットホールが全く発生しない)、2)シナリオB(ポットホールの発生が低頻度)、3)シナリオC(ポットホールの発生が高頻度)の3つのシナリオを設定し、パネルの確率的劣化予測を実施した。その結果を図-1に示す。健全度が任意の将来の時点で健全度4に達している確率は、現在のパネルの健全度によって当然異なるが、各シナリオによっても(ポットホールの発生状況に応じて)その確率の相違の様子を表現できることが、本研究の大きな特徴である。すなわち、ポットホールの発生頻度が高ければ高いほど、4に達している確率が高いと判定できている。

さらに、図-1のようなパネルの確率的劣化予測結果から、図-2のようにスパンSのリスク推移を導出することができる。同図には、シナリオCの場合のリスク推移を描いた。このような結果から、スパンSに対するリスクに応じた点検施策をとることが可能となる。例えば、スパンSのリスク管理基準を1.0%と定めると、この基準を超過するまでは、従来通り定期的な点検を実施し、この基準を超過した場合には、重点的な点検を実施してスパンSのリスクマネジメントを行うことが考えられる。

本実証分析では、1つのスパンに着目したが、任意の全てのスパンにおいても同様にリスクを算出することができる。このように、高速道路の管理者は、舗装路面の点検を実施しながら、点検の難しいRC床版のリスクを管理す

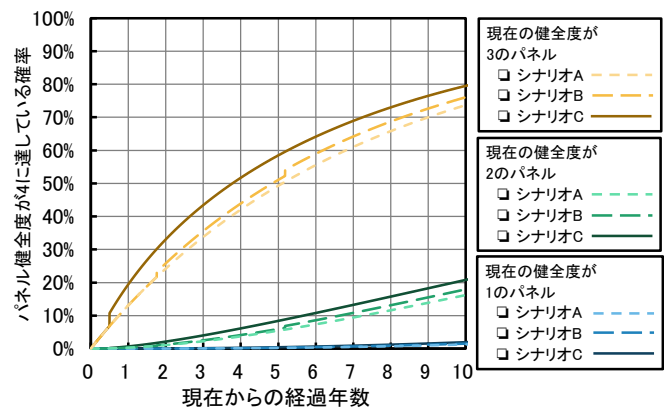


図-1 各シナリオにおけるパネルの確率的劣化予測

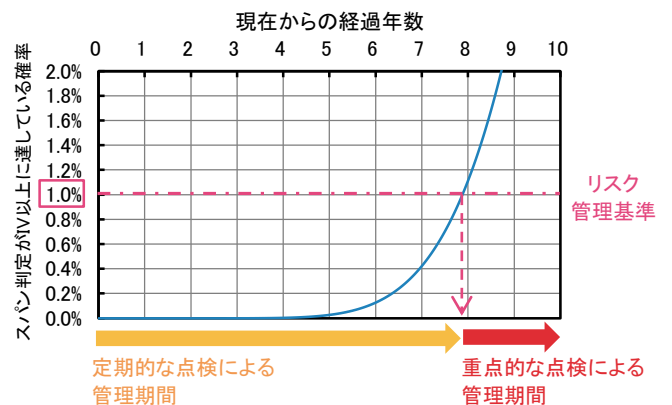


図-2 スパンSのリスク推移と点検実施施策

ることができる。さらに、そのリスクが設定した閾値を超えた場合には、緊急的な点検を実施することによって、RC床版のリスクを管理するような点検実施システムを持つことが可能となる。

5. おわりに

本研究では、将来のポットホール発生を想定したいくつかのシナリオを設定し、各シナリオにおけるRC床版パネルの点検実施施策を提案した。今後の課題として、点検費用を考慮した最適点検実施システムを構築する方法論の開発が挙げられる。

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) Nam, L. T., 貝戸清之, 小林潔司, 起塚亮輔: ポアソン隠れマルコフ劣化モデルによる舗装劣化過程のモデル化, 土木学会論文集 F4, Vol.68, No.2, pp.62-79, 2012.