

第IV部門

個別損傷に着目した統計的劣化予測モデルに基づく大規模更新順序の最適化

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

2015年3月25日、国土交通大臣から道路整備特別措置法に基づく特定更新等工事に係る事業許可を受け、高速道路会社で大規模更新等事業がスタートした。大規模更新等事業では、老朽化している高速道路橋を対象として、主要部材の取り換えが計画されている。特に、橋梁の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版）に関しては、プレストレストコンクリート床版（以下、PC床版）への取り換え（以下、更新）が予定されている。

一方で、高速道路は国民生活を支える極めて重要な社会基盤施設であり、大規模更新等事業による社会的な影響を、出来るだけ小さくすることが必要である。そのため、管理する複数の高速道路橋RC床版に対して、一斉に更新を実施するのではなく、更新を実施する優先順位を決め、順次更新を実施するのが望ましい。

以上の背景を踏まえ、高速道路会社においては、RC床版の状態を評価する指標として、スパン別床版（支間×幅員）の健全度評価（以下、スパン判定）を策定し、更新の優先順位を付けている。しかし、現行のスパン判定は、RC床版の劣化の将来予測結果を考慮されておらず、将来的にスパン判定が逆転する可能性があることが指摘されている¹⁾。さらに、RC床版の劣化の将来予測を精緻に行うためには、点検結果として記録されている劣化の最小単位である個別損傷に着目して、劣化予測を行う必要がある。

2. モデルの定式化

(1) 変状数生起確率モデル

任意のスパン s （スパン面積： S ，説明変数： $\mathbf{y}$ ）において、供用開始から時間 τ が経過後に累積 m 個の損傷が発生している確率 $P_{s,m}(\tau)$ を変状数生起確率モデルに基いて定式化すると、

$$P_{s,m}(\tau) = \frac{(\mathbf{y}\boldsymbol{\gamma}'S\{1 - \exp(-\mu\tau^\alpha)\})^m}{m! \cdot \exp(-\mathbf{y}\boldsymbol{\gamma}'S\{1 - \exp(-\mu\tau^\alpha)\})} \quad (1)$$

となる²⁾。ただし、 $\alpha, \mu, \boldsymbol{\gamma}$ は未知パラメータである。

(2) 累積ロジットモデル

スパン 1m^2 あたりの損傷個数が任意の x であるスパンのスパン判定が任意の i 以下となる確率 $p_i(x)$ を累積ロジットモデルに基いて定式化すると、

$$\text{logit}(p_i(x)) = \ln\left(\frac{p_i(x)}{1 - p_i(x)}\right) = \beta_{i,0} + x\beta_{i,1} \quad (2)$$

となる³⁾。ただし、 $\beta_{i,0}, \beta_{i,1}$ は未知パラメータである。

3. 実証分析

開発した方法論を高速道路会社が記録している点検データに適用し、実証分析を実施した。表-1に本実証分析で用いた適用データの概要を示す。さらに、本研究で対象とする損傷を表-2に示す6種類の損傷とした。

図-1には、変状数生起確率モデルの推定結果を示している。同図には、任意の供用開始からの経過時間での 1m^2 あたりの損傷個数を示している。変状数生起確率モデルには、説明変数として、RC床版の内在塩分の有無、海砂使用の有無を採用した。この他にも、説明変数として、全車交通量、大型車交通量、凍結防止剤散布量、ASRの有無も検討したが、符号条件を満足しなかったため、モデルには採用しなかった。

図-2には、累積ロジットモデルの推定結果を示している。同図には、任意のスパン 1m^2 あたりの損傷個数のスパン判定の推定結果を示している。同図に白線で示すように、例えばスパン 1m^2 あたりの損傷個数が0.1の場合、スパン判定が2となる確率が35%、3となる確率が45%、4となる確率が20%と推定される。

双方のモデルの推定結果を同時に考慮し、最新の点検時点でスパン判定が4に達していなかった52スパンそれぞれに関して、将来的にスパン判定が4となる確率を図-3に示した。例えば、更新の実施基準をスパン判定が4に達した状態と考えると、任意の将来時点で4に達する確率から、スパンの更新の優先順位付けが可能となる。

表-1 適用データ概要

橋梁数		15
スパン数		76
最新の点検時点に おいて、スパン判 定が、	2であるスパン数	23
	3であるスパン数	29
	4であるスパン数	24
個別損傷数の点検サンプル数		215

表-2 対象とした損傷種別

漏水
エフロレッセンス
はく離
浮き
鉄筋の露出・腐食
ひび割れ

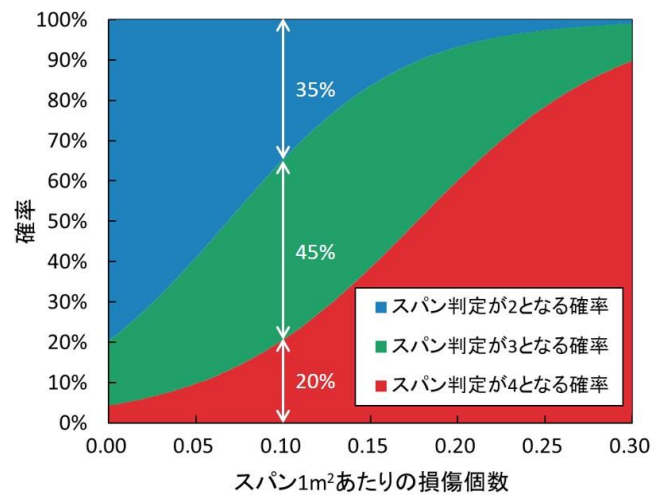


図-2 累積ロジットモデルの推定結果

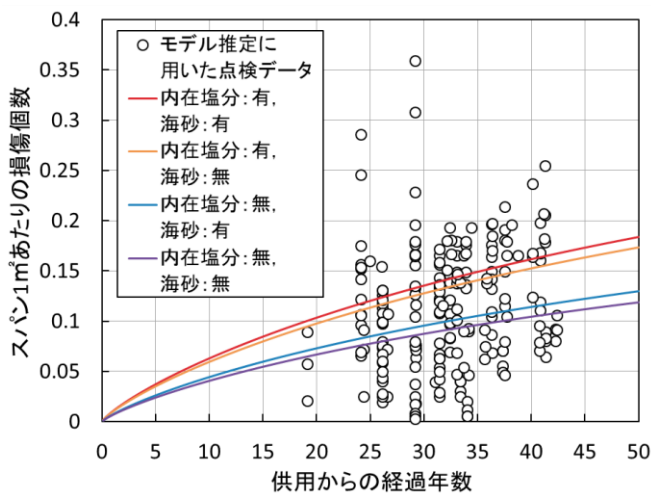


図-1 変状数生起確率モデルの推定結果

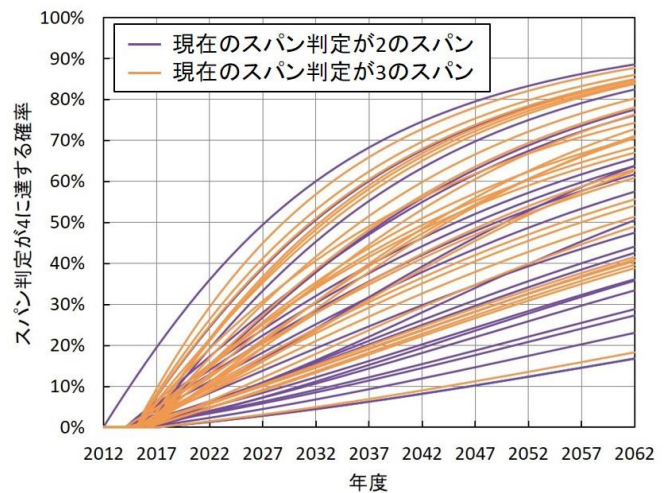


図-3 スパン判定が4に達する確率

4. おわりに

本研究では、管理する複数の高速道路 RC 床版橋の大規模更新の優先順位を決定する方法論を提案した。具体的には、RC 床版に対する過去の点検結果を記録したデータに基づき、将来の個別損傷数量を予測できるような統計的方法論および、個別損傷数量から RC 床版の劣化リスクを推定できるような統計的方法論を開発し、リスクに基づいた更新の優先順位を決定した。個別損傷数量の予測に関しては、寿命分布にワイブル分布を設定したワイブル型のハザードモデルを援用した。また、スパン判定の予測に関しては、累積ロジットモデルを援用した。パネル判定やスパン判定といった多段階離散的指標を劣化予測指標とせず、個別損傷そのものを予測している点に本研究の特徴がある。

【参考文献】

- 1) 水谷大二郎, 小濱健吾, 貝戸清之, 田中晶大: 集計的劣化過程モデルによる高速道路橋 RC 床版の劣化総合評価, 土木学会論文集 F4, Vol.73, No.3, pp.50-69, 2017.
- 2) 小濱健吾, 貝戸清之, 小林潔司: 混合ポアソン劣化モデル: コンクリートの剥離・剥落発生事象への適用, 土木学会論文集 F4, Vol.69, No.4, pp.27-37, 2013.
- 3) Cox, DR.: The regression analysis of binary sequences, J Roy Stat Soc B, No.20, pp.215-242, 1958.