

第VI部門 腐食の要因に基づく自治体管理鋼橋の劣化予測手法の構築

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○松岡 佑実
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 笹井 晃太郎
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之
 三井住友信託銀行株式会社 正会員 山崎 達也
 三井住友信託銀行株式会社 正会員 池田 卓弥

1. はじめに

橋梁は交通網を支える重要な社会基盤施設であり、全国の約70万橋のうち約9割を自治体が管理している。しかし、多くの自治体において補修予算の縮小や人手不足などの維持管理に関する課題が深刻化している。したがって、橋梁の維持管理の最適化が急務であり、橋梁の期待寿命を正確に推定したうえで、予算や人員の効率的な配分が求められる。橋梁の期待寿命の推定手法として混合マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾が挙げられる。この手法は、橋梁の任意のグループごとの期待寿命を推定するため、グループ内の劣化速度が類似することが重要である。そのため、劣化の因果効果を推定し劣化に影響する環境条件を求めることにより、グループを構成する定量的な基準を設けることができる。本研究では、パブリックデータを利活用して広範な視点から劣化の因果モデルを構築し、それに基づいた橋梁の期待寿命の推定を目的とする。以下、2.では本研究の基本的な考え方を整理し、3.では因果モデルに基づく劣化予測手法について、4.では適用事例について述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

これまで、点検情報を用いた橋梁の劣化過程を予測する統計的劣化予測手法が発展を遂げてきた。混合マルコフ劣化ハザードモデルでは、対象とする橋梁群を複数のグループに構成し、各グループの劣化速度の差異を表現する異質性を推定することにより、期待寿命を推定する。従来は、行政区分や管理区分に基づいたグルーピングがなされてきたが、一市町村や一管理事務所内で劣化環境が異なる場合、各橋梁の正確な期待寿命を推定することができない。したがって、劣化環境が均質なグループを構成する方法の検討が求められる。

劣化に影響する環境条件を求めるためには、劣化の

因果効果の推定が必要である。しかし、複数の観測変数が複合的に劣化に影響を及ぼすため、現実の事象を反映した因果効果の推定は容易ではない。そこで、観測変数同士の複雑な関係性を反映できる共分散構造分析²⁾を用いて、劣化の因果効果を推定する。これにより、観測変数同士の相関関係を反映した因果モデルを構築することができ、精緻な劣化予測が可能となる。

本研究では因果モデルに基づく劣化予測の手法を提案する。因果モデルに基づく劣化予測の手順は以下の通りである。まず、国土交通省が提供するオープンデータである全国道路施設点検データベース(以下、xROAD)から情報を抜き出し、混合マルコフ劣化ハザードモデルに適用して各橋梁の異質性パラメータを求める。次に、共分散構造分析を用いて劣化の因果モデルを構築し、対象自治体に因果モデルを転用する。そして、劣化環境が類似する橋梁でグループを構成したうえで、混合マルコフ劣化ハザードモデルに適用し、橋梁の期待寿命を推定する。以下では、浜松市が管理する鋼橋を対象に同手法を適用し、その効果を検証する。

3. 因果モデルに基づく劣化予測手法

混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて、各鋼橋の桁部材における損傷の劣化速度を推定する。混合マルコフ劣化ハザードモデルは、各グループのハザード率を推定し、期待寿命を算出する。ハザード率 θ_i と要素 l_k が属するグループ k の劣化異質性 ϵ^k を用いて、期間 \mathbf{z} に健全度が i から j へ推移するマルコフ推移確率 $\pi_{ij}(\mathbf{z})$ は

$$\pi_{ij}(\mathbf{z}^k | \epsilon^k) = \sum_{s=l}^j \prod_{m=l}^{s-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=s}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_m} \exp(-\theta_i \epsilon^k \mathbf{z}^k) \quad (1)$$

と表される。推定手法は階層ベイズ推計法であり、ハザード率 θ_i と異質性 ϵ^k を推定する。

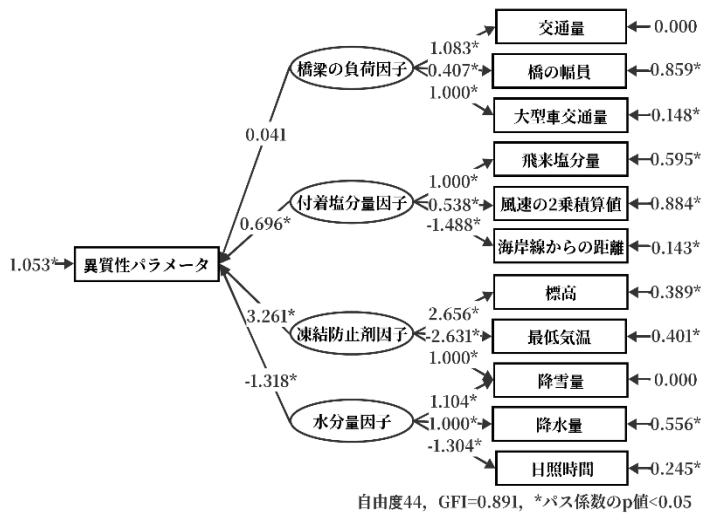


図-1 腐食の因果モデル

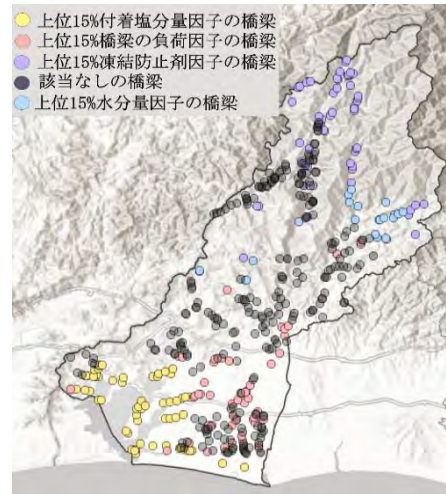


図-2 浜松市の鋼橋の分類

そして、共分散構造分析を用いて、各橋梁の異質性パラメータに回帰する変数(劣化に直接影響する要因)を明らかにする。共分散構造分析は観測変数と直接観測できない変数を含めた検証ができ、因果関係の仮説に基づいて柔軟にモデルを設計できる。共分散構造分析を用いて抽出した劣化因子の値が上位である橋梁をグルーピングする。劣化因子が類似する橋梁では劣化環境が同質と考えられるため、グルーピングした橋梁に混合マルコフ劣化ハザードモデルを適用することにより、各グループの正確な期待寿命を把握できる。

4. 適用事例

因果モデル転用のために、xROAD から分析対象と劣化環境が類似する地域のデータを取得する必要がある。そのため、浜松市を含む静岡県と隣接する愛知県国道事務所が管理する鋼橋の点検データを取得した。鋼橋の損傷記録の大半を腐食に関連する変状が占めることから、図-1 に示す腐食の因果モデルを構築した。

腐食に直接影響を及ぼす因子として、橋梁の荷重因子、付着塩分量因子、凍結防止剤因子、水分量因子が存在すると仮定して分析を行った。そして、浜松市の鋼橋に対して、構築した因果モデルを転用し、各鋼橋の劣化因子の値を求めた。図-2 に各劣化因子において上位15%に位置する橋梁を分類しプロットしたものを示す。

図-2 のように分類した鋼橋に対して、混合マルコフ劣化ハザードモデルを適用した。図-3 に各グループの期待寿命を推定した結果を示す。異質性パラメータに正の影響を及ぼす(劣化を促進する)橋梁の荷重因子、付着塩分量因子、凍結防止剤因子が上位15%の鋼橋では、該当なしの鋼橋より期待寿命が短い一方で、負の影響

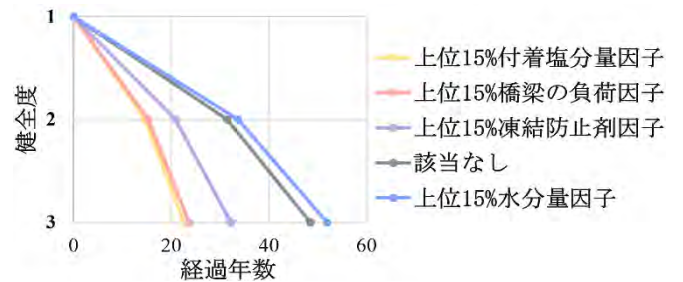


図-3 浜松市の鋼橋の各グループ期待寿命

響がある(劣化を抑制する)水分量因子が上位15%の鋼橋では、期待寿命が長い結果となった。静岡・愛知県内の国道管理鋼橋と浜松市管理鋼橋は同様の劣化傾向を確認でき、因果モデルの転用可能性を示唆できた。

5. おわりに

本研究では、浜松市における鋼橋の期待寿命を正確に推定するため、腐食の因果効果を考慮し、劣化環境が均質なグループを構成したうえで、各グループの鋼橋の期待寿命を求めた。xROAD などパブリックデータのみを活用により市町村が管理する小規模の鋼橋の腐食の因果効果を推定できることが示唆された。これにより、橋梁の劣化予測精度が向上し、市町村における維持管理業務の最適化への寄与が期待される。一方で、浜松市と同様の劣化環境である地域を静岡県・愛知県で選定したが、劣化環境が類似していることを示す定量的な判断基準の設定が課題である。

【参考文献】

- 1) 貝戸清之, 小林潔司, 青木一也, 松岡弘大: 混合マルコフ劣化ハザードモデルの階層ベイズ推計, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.255-271, 2012.
- 2) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇.: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集, Vol.2001, No.668, pp.299-311, 2010.