

橋梁点検データに基づく劣化予測手法の比較考察

金沢大学 学生員 宮地飛馬
金沢大学 正員 近田康夫 小川福嗣

1. はじめに

高度経済成長期に建設された橋梁が供用から 50 年を超える高齢橋になり、今後同時期に補修を必要とする時期を迎える。また近年では、橋梁のライフサイクルコスト削減の観点から、予防保全型の管理が求められ、劣化予測の重要性が高まってきている。橋梁の劣化予測は健全度の経年的変化予測であり、現在、各自治体で用いられている手法としては、回帰モデルの適用例が多い。しかし、経年的劣化を追うという観点を考えると、回帰モデルの他にも、適用を検討されているいくつかのモデルが挙げられる。

本研究は、現在蓄積されている橋梁点検データを対象として、回帰モデルの他に、適用例が増えつつあるマルコフモデル、そして適用の検討が進められているブラックショールズモデル、生存時間解析のそれぞれを用いた劣化予測の比較・分析を行うことで、各手法により推定される劣化曲線の特徴を読み取り、それぞれの手法の特色を考察することを目的としている。

2. 点検データ

研究に使用したデータは、石川県の 2013 年以前に蓄積された橋梁点検データの健全度で、対象部材は、下部工、主桁、床版、支承、伸縮装置の 5 部材である。点検データの中には、点検年や架設年が記載されていないものがあり解析には不適切であると判断したため、それらのデータは除外した。また、補修履歴があるデータに関しても、本来の劣化状態を表すデータとならないため除外した。最終的に使用したデータ数は、石川県の点検データに存在する橋梁 2314 橋のうち 1610 橋となった。

3. 劣化予測手法

(1) 回帰モデル

本研究では、二乗誤差を最小化する最尤推定である、最小二乗法を用いた。点検データの健全度 y と経年数 x から、回帰係数を求め、回帰式とした。また、回帰式としての式 $y = 5 - \alpha x^2$ を用いた。

(2) マルコフモデル

マルコフモデルとは、主に社会基盤施設の劣化予測に用いられているもので、劣化状態の経年変化を、一次マルコフ性を有する離散時間の確率過程で記述する手法である。本研究では、遷移確率（一年間で健全度 i から健全度 j に移

る確率）を求める際に、小濱ら¹⁾により開発された混合指数ハザードモデルによる推定手法を用いた。

(3) ブラックショールズ (BS) モデル

BS モデルは、確率微分方程式に含まれるモデルのひとつであり、主に金融市場予測を行う際に用いられている。これまで、主として、金融市場予測に用いられてきたが、橋梁などの社会インフラの維持管理にも応用が期待できるモデルである。既存研究としては、須藤ら²⁾による寒冷地の道路構造物における劣化特性とその分布に関する研究がある。また、出力される曲線形状としては、対数正規分布を仮定している。

(4) 生存時間解析

生存時間解析は、主に医学の分野で用いられているモデルであるが、橋梁の劣化予測にも応用可能なモデルである。既存研究としては、山崎ら³⁾による生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析に関する研究がある。このモデルでは、カプランマイヤー法を用いることにより、各部材の生存曲線を引くことができるほか、Cox 回帰分析により、複数の劣化要因が、部材の劣化にどの程度影響しているのかを、数値として表すことが出来る。

4. 解析結果

例として、床版の解析結果を挙げる。なお解析には解析ソフト R と手法に応じたライブラリを用いた。

図-1 は回帰モデルとマルコフモデルの比較である。回帰モデルに関しては、経年数が 40 年以下のデータで解析を行った。経年数 40 年以下のデータを対象とした理由は、劣化が進行するとされる 30~40 年以降のデータに補修履歴が記されていない健全度 5,4 のデータが存在し、それらによって劣化曲線が危険側に偏ってしまうからである。ここで、危険側とは、劣化速度が緩やかになることを意味している。マルコフモデルではハザード率から劣化曲線を与えることができ、回帰モデルとは異なり下凸の劣化傾向を示す。健全度 5 から健全度 4 までは 15 年ほどで到達しているが、健全度 3 に到達するまでには約 70 年を要している。マルコフモデルは、各健全度のデータ数分布に依存しており、石川県のデータのようにデータの分布に極端な偏りがあると、劣化予測の精度が低下すると考えられる。

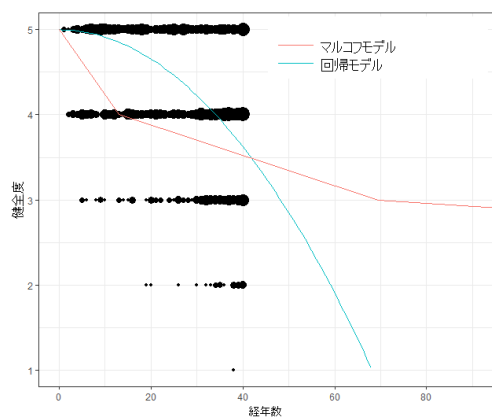


図-1 回帰モデルとマルコフモデル

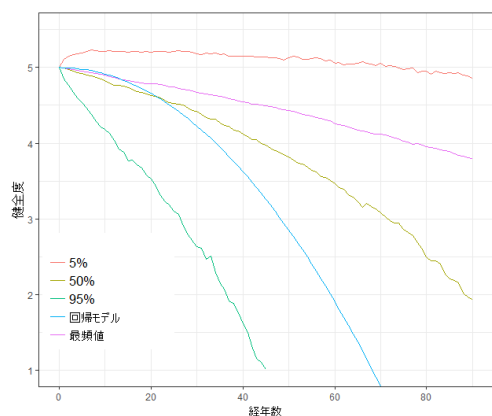


図-2 回帰モデルと BS モデル

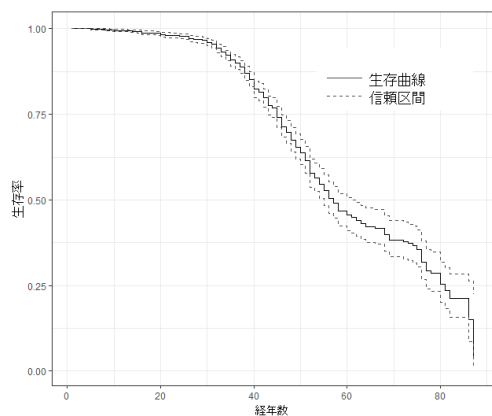


図-3 生存曲線

図-2 は回帰モデルと BS モデルを適応した劣化曲線である。また、BS モデルに関しては、5,50,95 %のそれぞれの信頼区間を表している。結果としては、両者とも二次曲線形状を示しているが、50 パーセント値を指標とすれば BS モデルの方が安全側に偏ることがわかった。

図-3 は生存時間解析のカプランマイヤー法による生存曲線を表している。生存曲線は他のモデルとは異なり、ある健全度に到達するまでの経年数とその時点での生存率の関係を見ることが出来る。(図-3 は、健全度 3 に到達するまでの年数の結果である。)

さらに、Cox 回帰分析の結果を表-1 に示す。Cox 回帰分

表-1 床版の Cox 回帰分析結果

説明変数	ハザード比
凍結防止剤散布量	1.9143
防水工の有無	0.94483
日交通量	1.45897
大型車日交通量	1.05011
海岸距離	1.41418

析では、ハザード比の大小によって劣化への影響力を見ることができる。

ハザード比を比較すると、凍結防止剤散布量、日交通量、海岸距離の数値が大きくなっており、これらの要因が床版の劣化因子となっていることがわかる。

5. まとめと今後の課題

これまで、4 つの劣化予測手法を比較してきたが、どのモデルが劣化予測手法として最も正しいかは、一概に判断できない。現在、各自治体で利用されている手法は回帰モデルであるが、他のモデルを用いた場合にもそれぞれの有効点があると言える。マルコフモデルに関しては、連続する二つの健全度のみに着目した劣化予測ができることが挙げられる。(他のモデルでは、全体の健全度分布を考慮している。)

ブラックショールズモデルは、健全度が対数正規分布に従うことを仮定しているが、その場合には、データに依存するトレンド項(平均劣化速度を表す)と、Winner 過程に従う確率項に分けて評価されるので、回帰モデルよりも説明能力は高いと言える。

生存時間解析では、カプランマイヤー法により生存曲線を求めることができる他、Cox 回帰分析を行うことで、点検データにある項目が、部材の劣化にどの程度影響しているのかを、数値(ハザード比)として表すことができる。各部材の劣化要因を特定することができれば、早期劣化対策に役立てることも可能と考えられる。

本報告では、床版に関して解析を行ったが、今後は、他の部材についても同様の解析を行い、各モデルによってどのような違いが出るかを確認し、各手法の適用条件等を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.11
- 2) 須藤敦史, 佐藤京, 兼清泰明, 丸山収, 西弘明: 寒冷地の道路構造物における劣化特性とその分布について, 構造工学論文集, Vol.62A, pp156-165, 2016.3
- 3) 山崎崇央, 石田哲也: 生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4, Vol.71, No.4, pp11-22 2015