

階層ベイズを活用した橋梁劣化予測モデルの構築

愛媛大学大学院 学生会員 ○三島和紀 愛媛大学 賛助会員 Debri Hasian Harianja
非会員 石水貴久 愛媛大学大学院 正会員 全邦釘

1. 序論

現在、我が国では橋梁の老朽化、また、それに伴う橋梁の維持更新費増大の問題に直面している。そのため、損傷が深刻化してから行う事後保全による現在の補修では、全ての橋梁が要求性能を満たした状態で維持することは不可能である。そこで土木構造物を資産ととらえるアセットマネジメントの考え方が重要視され、そこではライフサイクルコスト(LCC)を最適化することが求められる。この時、重要となる将来の補修需要や必要な予算の予測には橋梁の劣化予測モデルが非常に大きな役割を担っている。しかし、点検データの蓄積や設計データの保存がされておらず、環境条件が橋梁毎に大きく異なる等の理由のため、橋梁の劣化予測は困難なものとなっている。そこで本研究では個体差を考慮出来る階層ベイズモデルを用いて、様々な劣化要因を含んだ劣化推定モデルを作成し、各橋梁に対応した劣化予測を行う。それにより各橋梁に対して点検頻度・補修タイミング等に適切なアプローチで維持管理計画を行うことが可能となる。

2. 階層ベイズモデルによる劣化予測式

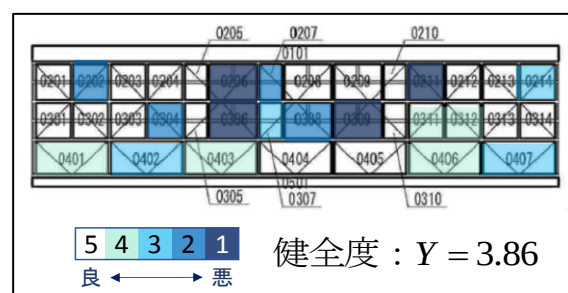
ベイズ統計学では、得られた標本から母数の真値がその値である確率はどの程度見込まれるのかという確率分布の形で表現する。まず、母数のパラメータを推定する際に母数の事前分布を設定しておく必要がある。次に、得られた標本から事前分布を事後分布に更新することで、新たな母数の分布を求めることが出来る。更に、新たな情報を得た時、前回の事後分布を事前分布として、再び事後分布を求めることで母数の推定精度を高められる。このベイズ更新の特性により、本研究においては、今後蓄積される点検データを組み込むことでモデルの修正・精度の向上を容易に行うことが可能であることを示している。更に複雑なモデルの場合、事前分布を決める超事前分布をパラメータとしてモデルに組み込む場合がある。その超事前分布のパラメータも推定パラメータとする事で現

象に含まれる様々な要因を取り込むことが可能である。

本研究では、国土交通省が管理している愛媛県内の橋梁群に劣化予測を行った。点検データには橋梁の諸元データや部材の損傷状態が記録されている。損傷状態は、部材の要素毎に分類されている。更に要素ごとに、その部材の材質から損傷の種類・損傷の程度が記録されている。損傷度はa～eまでの5段階に分類されているが、それらを5～1に変換し、要素毎の損傷度の平均値を、ある点検時における各部材の健全度とする。例として、図1に健全度の算出したものを示す。本研究の劣化予測式はある時点での損傷度の平均を Y 、経過時間を t 、 α を劣化進行パラメータとすると式(1)のようになる。更に式(2)は α を要因毎の影響を受けるパラメータとして置き、各損傷で予想される劣化要因の影響がどの程度なのかを検証する。しかし、橋梁は様々な環境下で存在し、複雑な要因が絡まって劣化が進行している。そのため、点検データによる情報では劣化現象を十分に説明できない。そこで、観測できていない個体差を考慮するため、パラメータとして r_i を導入することで各橋梁の α を算出することができ、適応した劣化予測を行うことが可能となる。橋梁劣化予測の階層モデルのグラフィカルモデルを図2に示す。

$$Y = 5 - \alpha t^2 \quad (1)$$

$$\alpha_i = \alpha_0 + \alpha_1 \times D_1(i) + \dots + \alpha_n \times D_n(i) + r_i \quad (2)$$



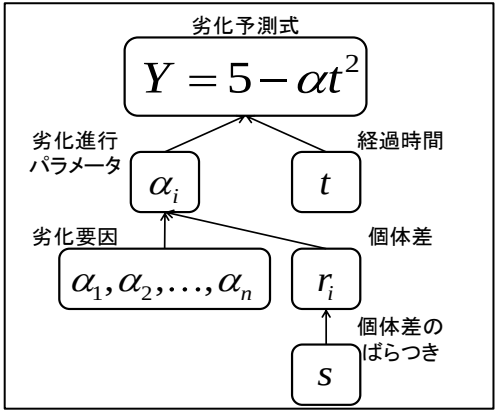


図 2 劣化推定モデル

3. 階層ベイズモデルによる橋梁の劣化予測

劣化予測式を用いて、国土交通省が管理している愛媛県内の橋梁群に対して劣化予測を行った。今回はコンクリート橋の主桁のひび割れに関する劣化の予測を行った。コンクリート橋のひび割れは主に塩害によるコンクリート中の鋼材の腐食生成物の体積膨張によるものと、車の通過によるものが考えられる。そこで劣化要因として、海岸線からの距離・交通量を用いた式(3)を適用する。予測結果の一部を図 3 に示し、各パラメータの影響度は表 1 に示す。

$$\alpha_i = \alpha_0 + \alpha_1 \times D_1(i) + \alpha_2 \times D_2(i) + \alpha_3 \times D_3(i) + r_i \quad (3)$$

α_0 : 全体平均劣化, α_1 : 海岸線からの距離,
 α_2 : 橋長, α_3 : 交通量

図 3 より各橋梁に対応した劣化予測ができています。しかし、表 1 より、影響度のパラメータは全体共通項の α_0 が最も大きく、他のパラメータの影響が小さい。そのため現状では、個体差に強く依存する劣化予測モデルといえる。

今回の劣化予測モデルでは同程度の健全度においても点検開始年度が異なれば将来の劣化予測範囲が大きく異なることが分かる。つまり、架設後一定期間を過ぎた橋梁は劣化が進行する可能性が小さいため、点検頻度を下げることが可能である。逆に架設直後の橋梁は将来の劣化状態が未知数であるため、点検頻度を上げることで劣化状態を逐一把握することが重要となる。これにより将来の劣化予測幅が狭くなり、橋梁の劣化状態の把握が容易となる。さらに重大な事故

を未然に防ぐこともできるほか、補修のタイミングを適切に把握することができ、予算のマネジメントも容易となる。このように劣化予測モデルを用いることで、効率的な点検を行うことが可能となり、維持管理の質の向上が期待される。

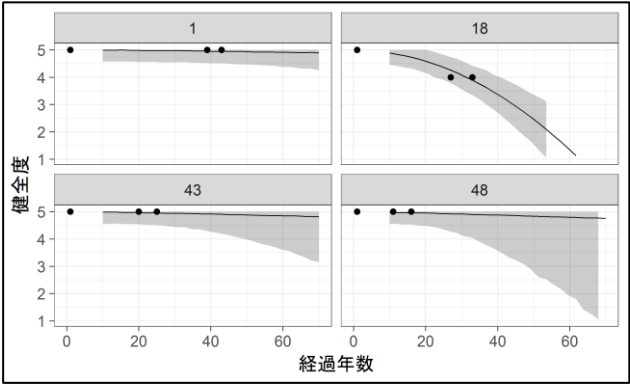


図 3 橋梁劣化進行予測

表 1 パラメータの推移結果

	平均	
	下限	上限
a_0	-9.82	
	-11.06	-8.75
a_1	6.10E-05	
	-6.52E-05	1.80E-04
a_2	-4.09E-03	
	-1.50E-02	1.91E-03
a_3	-7.88E-06	
	-1.14E-04	9.57E-05

4. 結論

本研究においての主な結果を以下に示す。

- 1) 階層ベイズモデルを用いた劣化予測を行うことで、少ない点検結果から個体差や様々な劣化要因を含んだ劣化予測が可能であることを示した。更にモデル式や劣化要因を詳細に考慮しモデルに組み込むことで、より精度の高い劣化予測が行えるようになる。
- 2) 今回の劣化予測モデルでは、劣化予測の進行度あるいは点検開始年度により将来の予測幅に変化が生じることを確認した。それにより、点検頻度の見直しを行うことで、劣化予測幅に応じた、より効率的な補修計画を行えることを示した。