

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18170

研究課題名(和文) 最大エントロピー原理を用いた橋梁劣化予測分布導出モデル

研究課題名(英文) Derivation of predictive distribution of bridge deterioration using maximum entropy theorem

研究代表者

全 邦 釘 (Chun, Pang-jo)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：60605955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、橋梁のアセットマネジメントに必要となる劣化予測手法の改善を目指すものである。まず橋梁の劣化に影響を及ぼす説明変数について調査を行った。その結果、管理主体などが劣化に及ぼす影響が大きいこと、海岸からの距離は劣化に一定の影響を与えること、ただそれよりも初期欠陥などが大きな影響を及ぼしているであろうことが示唆された。また、テイル部を予測するためには予測分布を導出する必要があるが、階層ベイズ法によるモデル化により実現できた。その結果、研究計画に挙げていたようなテイルリスクの評価ができるようになることはもちろん、個別橋梁ごとの最適点検間隔の提示などができるようになった。

研究成果の概要(英文)：This research aims to improve the degradation prediction method required for bridge asset management. First, we investigated which parameters affect bridge degradation. As a result, it is found that the bridge deterioration is affected by the difference in the management organization. It is said that the distance from the coastal line affects very much, however, it is only a certain degree of influence according to the analysis of inspection data. Rather, it was suggested that initial defects may have a large effect on degradation.

To evaluate the tail risk of the bridge deterioration, it is required to derive the detailed tail of the prediction distribution. We realize it by using hierarchical Bayesian model. As a result, it became possible to evaluate the tail risk as mentioned in the research plan, as well as to present the optimal inspection interval for each individual bridge.

研究分野：維持管理工学

キーワード：リスク評価 地域都市計画 橋梁工学 アセットマネジメント 劣化予測

1. 研究開始当初の背景

近年、橋梁の劣化が社会問題となっている。橋梁の安全な利用、ライフサイクルコストの低減のためには橋梁を適切に維持管理する必要があり、その一環として自治体や高速道路会社などの橋梁管理者により劣化予測が行われている。

しかし図1に実例を示すように、現在行われている劣化予測は予測誤差が大きく、提案されている劣化予測曲線から多くの点検結果が乖離しており、改善が望まれている。モデルの予測誤差が大きい原因は、劣化予測のために用いている説明変数が橋齢や橋種などの基本的な情報のみであり、橋梁の劣化予測に十分ではないためである。

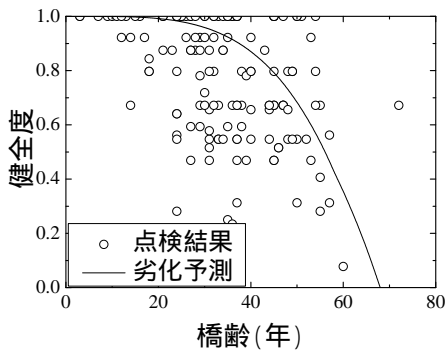


図1 点検結果と予測の大きなばらつき

また自治体などで現在行われている劣化予測は、例えば図2に示す劣化予測曲線のように平均値を予測するのみ、といったような確定的なものが多い。しかし橋梁の劣化予測には不確実性が大きく含まれるため、劣化度の予測分布を確率的に導出できる図3のようなモデルを構築し、劣化予測の不確実性を定量的に評価するほうが本来は望ましい。

こうして劣化度の予測分布を導出できれば、維持管理コストの予測分布や、落橋に代表されるテイルリスクの評価が可能となり、アセットマネジメントに貢献できる。また、個別橋梁ごとの最適点検間隔（現在は全ての橋梁で5年以内として統一されている）の提示なども、点検コストを低下させるために強く求められており、予測分布を導出することができれば、演繹的に導出可能となる。

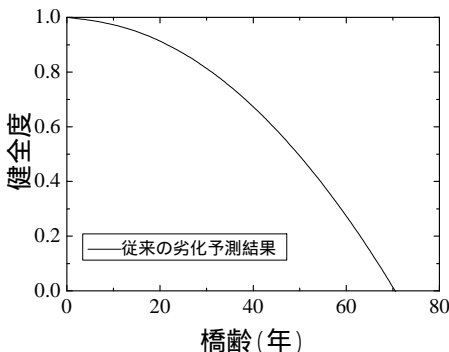


図2 平均的・確定的な劣化予測

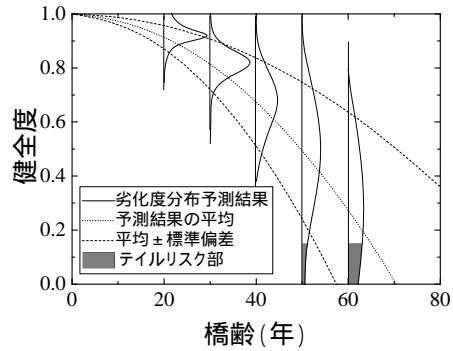


図3 劣化の予測分布の導出

2. 研究の目的

本研究では、モデル精度を向上させるため、まず従来集められていなかった橋梁劣化影響要因のデータの計測、収集し、説明変数を増やし、劣化予測モデルに取り込むことを目的とする。次いで、階層ベイズモデルをもとに、予測分布を導出する。これにより、維持管理コストの予測分布や、落橋に代表されるテイルリスクの評価、個別橋梁ごとの最適点検間隔の導出なども可能となる。

3. 研究の方法

本研究では、四国内の国、県、および市町村が管理する橋梁のうち、平成26年度、27年度に点検が終わった橋梁のうち、架設年次がわかっている10,406橋梁について分析を行った。点検結果は各管理者がそれぞれのフォーマットで記録・蓄積していることが多いが、それに加えて道路橋定期点検要領の「7. 記録」および「別紙3 点検表記録様式」において定められている様式に従って記録しており、この統一的基準で作成されているデータを用いることとした。劣化に関する情報については、～の4段階で評価される判定区分を用いることとした。また、橋齢など12種のパラメータが劣化に及ぼす影響をここでは検討した。

影響度の検討には順序ロジットモデルを用いた。具体的には、橋梁*i*の判定区分を $y_i$ として表したときに、潜在変数 $Y_i^*$ と判定区分*k*から*l*への閾値 $m_{k,l}$ を用いて次の様に定式化する。

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } m_{1,II} \geq y_i^* \\ 2 & \text{if } m_{1,II} < y_i^* \leq m_{2,III} \\ 3 & \text{if } m_{2,III} < y_i^* \leq m_{3,IV} \\ 4 & \text{if } m_{3,IV} < y_i^* \end{cases} \quad (1)$$

表 1 推定結果

ステップワイズ法	全橋梁				国管理の橋梁				市町村管理の橋梁			
	適用前		適用後		適用前		適用後		適用前		適用後	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
被説明変数												
橋齢	0.028	22.4	0.028	22.5	0.035	6.53	0.034	6.56	0.033	19.8	0.033	19.8
橋長	0.008	17.1	0.008	17.3	0.004	5.01	0.004	5.04	0.014	13.4	0.014	13.4
年降水量	0.142	5.78	0.139	6.7	0.031	0.36			0.107	3.24	0.119	3.67
年合計日照時間	-0.240	-8.13	-0.222	-10.9	0.076	0.73			-0.215	-5.83	-0.208	-5.31
年最低気温	0.001	0.48			0.143	1.32			-0.362	-6.89	-0.356	-4.43
年平均気温	-0.002	-2.10			-0.041	-6.88	-0.023	-2.77	0.031	29.3	0.029	3.96
標高	-0.040	-0.98			0.057	0.76			0.000	0.32		
ダミー変数(海岸からの距離0-20m)	0.548	2.15	0.550	2.2	-0.040	-0.08			1.047	2.63	1.033	2.60
ダミー変数(海岸からの距離20-50m)	0.373	1.51	0.384	1.6	0.924	1.54	0.939	1.60	0.301	0.76		
ダミー変数(海岸からの距離50-100m)	0.139	0.73			-1.060	-1.74	-1.020	-1.69	0.627	2.27	0.619	2.24
ダミー変数(海岸からの距離100-200m)	-0.016	-0.10			-0.147	-0.37			-0.018	-0.09		
ダミー変数(管理者 町)	-0.393	-2.62	-0.153	-2.8					-0.333	-2.19	-0.195	-3.11
ダミー変数(管理者 市)	-0.272	-1.86							-0.148	-0.98		
ダミー変数(管理者 県)	-0.217	-1.49										
ダミー変数(管理者 国)	-2.065	-12.6	-1.820	-21.5								
ダミー変数(鋼橋)					0.118	0.16						
ダミー変数(RC橋)					-1.642	-2.12	-1.772	-6.74				
ダミー変数(ボックスカルバート)					-1.844	-2.37	-1.969	-7.53				
ダミー変数(PC橋)					-1.005	-1.34	-1.118	-5.92				
橋梁単位面積当たりの予算									-0.043	-1.613	-0.043	-1.62
閾値 1/2	-0.75	-56.31	-0.16	-3.05	-5.44	-29.4	-2.72	-2.09	4.77	843.7	4.61	4.09
閾値 2/3	2.40	62.32	2.98	47.1	-3.52	-15.7	-0.80	-0.62	7.90	173.1	7.74	6.85
閾値 3/4	7.43	27.64	8.01	29.2					12.5	47.1	12.3	10.6
Residual Deviance	18237.2		18242.6		1217.4		1218.9		11336.2		11337.8	
AIC	18273.2		18264.6		1251.4		1238.9		11370.2		11363.8	
的中率	0.63		0.63		0.67		0.66		0.60		0.61	
N	10406				788				6380			

ただし、潜在変数  $y_i^*$  は

$$y_i^* = \mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} + e \quad e \sim N(0,1) \quad (2)$$

で表され、 $\mathbf{x}_i$  は橋梁  $i$  に関する説明変数を表す  $1 \times K$  のベクトル ( $K$  は説明変数の数)、 $\boldsymbol{\beta}$  は  $K \times 1$  の係数ベクトルである。

推定は、まず橋梁の判定区分にもたらす要因を把握するために、説明変数を全て考慮したモデルを考えて要因の定量的な評価を行った。次に、これまでに得られたデータを用いて、将来の橋梁の劣化を予測することを考え、AIC を使ったステップワイズ法を適用し、予測モデルを作成する。

#### 4. 研究成果

市町村、県および国管理の全橋梁について順序ロジットモデルを推定した結果を表 1 に示す。国、県および市町村が管理する全橋梁について推定した結果から、橋齢、橋長、年降水量のパラメータは正であり、これらの値が大きいほど判定区分が大きくなる傾向にあることがわかる。すなわち、古い、橋長が長い、降水量が多い所に建設された橋梁ほど状態が悪く、補修が必要な可能性が高いことが示唆された。逆に、年合計日照時間が長い橋梁ほど、判定区分は低くなることわかる。管理者の違いによる判定区分については、町、市、県、国のそれぞれのダミー変数のどれもが負のパラメータとなっており、有意な結果となった。すなわち、村が管理している橋梁に比べて、これらの管理者が管理してい

る橋梁は、判定区分が低く、状態の良いものが多いことを意味している。特に、国管理の橋梁を表すダミー変数の係数の絶対値は最も大きく、状態が良いものが多い。また、海岸線からの距離については、0-20m に関しては 200m 以上と比較して有意水準 5% で有意であると言える。

また、表 1 中には、橋種の影響を調べることを目的として、橋種が記録されている国管理の橋梁に絞って同様の解析を行った結果を示している。国管理の橋梁には、鋼橋、RC 橋、RC 橋(ボックスカルバート)PC 橋、その他の橋種が見られたため、その他の橋種を除く 4 種類の橋種について、ダミー変数を設定し、順序ロジットモデルを推定した。その結果、推定されたパラメータの係数から、ボックスカルバート、RC 橋、PC 橋、鋼橋の順に悪くなっていることがわかる。

さらに、自治体が橋梁の維持管理に使用することのできる予算が、橋梁の状態にもたらす影響を把握する。ここでは、比較的、予算が限られており、状態の悪い橋梁も多いと考えられていることから、市町村管理の橋梁に着目する。各市町村が管理する橋梁の単位面積当たりの予算が判定区分にもたらす影響は、表-2 中の第 4 列目に示したように有意水準 10% に近い水準で有意であり、負の影響をもたらしている。すなわち、橋梁単位面積当たりの予算が少なくなるほど、判定区分は大きな値をとり、状態が悪くなる傾向にあることがわかった。

また、階層ベイズをもとに予測分布を導出する。そのため、1 橋につき 5000 個の劣化予測パスを描いた。その 1 例を図 4 に示す。

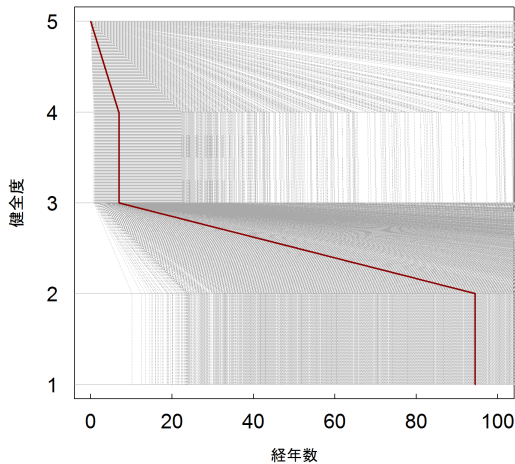


図4 劣化予測パスの例

図の灰色部分は 95%信頼区間を，赤色の実線は中央値を示している．この結果を用いれば，計画供用年数，点検費用および補修費用を設定することで，対象橋梁の最適な点検間隔を導出することができるようになった．

#### 5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

大窪 和明, 全 邦釘, 浅本 晋吾, 岡崎 慎一郎: 地域アセットマネジメントにおける簡易点検手法の適用に関する一考察, 第 1 回 JAAM 研究発表会論文集, pp.117-122, 2017.

〔学会発表〕(計 1 件)

全 邦釘, 大窪 和明, 浅本 晋吾, 岡崎 慎一郎: 橋梁の劣化過程の地域性の解明と地域アセットマネジメント手法の提案, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol. 55, No. 05-03, 2017.

#### 6．研究組織

##### (1)研究代表者

全 邦釘 (Pang-jo Chun)

愛媛大学 理工学研究科(工学系)・  
准教授

研究者番号: 60605955

##### (2)研究分担者

該当なし

##### (3)連携研究者

吉井 稔雄 (Toshio Yoshii)

愛媛大学 理工学研究科(工学系)・教授

研究者番号: 90262120

##### (4)研究協力者

楠本 雅博 (Masahiro Kusumoto)