

異質性を考慮した統計的劣化予測のトンネル照明灯具への適用

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○水谷大二郎 正会員 貝戸清之
西日本高速道路株式会社 正会員 平川恵士

1. はじめに

社会基盤施設に対する補修，更新等の意思決定は目視点検を通して，点検員や専門技術者の経験的判断によってなされる場合が少なくない．一方で近年の社会基盤施設を取り巻く社会・経済状況の厳しさや，組織内における技術継承の効率化に対する要請を受け，このような意思決定プロセスの視覚化が重要な課題となっている．本研究では，その基礎的検討として，高速道路のトンネル照明灯具（以下，灯具）の劣化に着目して，その劣化過程を混合マルコフ劣化ハザードモデルで記述する．**2.**で対象とする灯具の平均的な劣化予測を，**3.**でトンネルごとの異質性を考慮した劣化予測をそれぞれ行う．

2. 灯具の期待劣化パスの推計

(1) マルコフ劣化ハザードモデル

社会基盤施設に対する目視点検の結果は，一般的に多段階の離散的な健全度として評価される．マルコフ劣化ハザードモデルでは，主な劣化要因を特性変数として内包させたハザード率によって，任意の健全度から次段階の健全度へ進展する劣化速度（期待寿命）を定義する．さらにハザード率を用いてマルコフ推移確率を算出することで期待劣化パスや健全度分布の推移を求めることが可能となる．

(2) マルコフ劣化ハザードモデルの推計

灯具の目視点検データを用いて，**2.(1)**で示したマルコフ劣化ハザードモデルのパラメータを，マルコフ連鎖モンテカルロ法を援用してベイズ推計した．データ諸元を表-1に示す．今回の推計では，供用開始年が1990～1991年の13のトンネルで獲得された15,722個の点検サンプルを用いた．灯具の健全度は3段階で評価され，健全度が大きいほど，劣化が進行していることを意味する．健全度3の状態を除く合計2つの健全度に対してハザード率を定義できる．事前の経験的知見から，トンネル入口部はそ

表-1 データ諸元

トンネル数	13			
供用開始年	1990～1991年			
サンプル総数	15,722			
サンプル数の内訳	事前健全度	事後健全度		
		1(OK)	2(B)	3(A,AA)
		2(B)	262	3,211
		3(A,AA)	-	2,349

表-2 AIC 比較

入口部の距離	AIC
200m	23,804
250m	23,805
300m	23,803
350m	23,806
400m	23,807

表-3 $\hat{\beta}$ の推計結果

	β_1	β_2
健全度	定数項	入口:0 入口以外:距離-300
1	-1.40	-0.09
2	-2.24	-0.54

れ以外と比較して灯具の劣化が早いことが判明している．そこで1つの目の特性変数として，トンネル入口部を0，入口部以外を1とするダミー変数を設定した．このとき，ダミー変数となる入口部については表-2に示すように，200mから400mまで50m刻みで5ケースを設定した．その上で2つ目の特性変数として，入口部以外の灯具に対して，入口部からの距離（例えば，入口部を200mと設定したとき，入口から500mの位置に設置された灯具では入り口部からの距離は300mとなる）を採用した．

以上の条件のもと，マルコフ劣化ハザードモデルの推計を実施した．表-2には5つの入口部に対する情報量規準AICも示している．AICはモデルと実データのあてはまり具合を評価する基準であり，AICが最小となるモデルが最適モデルとして選定される．同表より入口部を300mと設定したときに

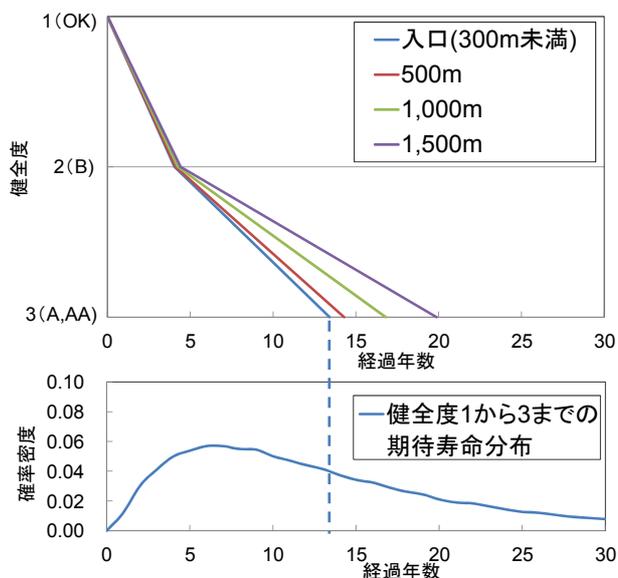


図-1 期待劣化パスと期待寿命分布

AIC が最小となっていることから、本研究では入口部を 300m と決定した。表-3 に以上の手順で推計したマルコフ劣化ハザードモデルの未知パラメータ $\hat{\beta}$ の期待値を示した。 $\hat{\beta}_2$ が健全度 1 と 2 とともに負の値となっており、入口部の期待寿命が入口部以外の期待寿命と比較して短くなるのがわかる。また、図-1 の上段に入口部、入口からの距離が 500m, 1,000m, 1,500m の灯具に対する 4 本の期待劣化パスを示す。健全度 1 の灯具が健全度 3 に達する期待寿命は、入口部で 13.4 年、入口部からの距離 500m で 14.3 年、1,000m で 16.8 年、1,500m で 19.9 年である。つぎに、推計結果からマルコフ推移確率を算出し、モンテカルロシミュレーションを用いて期待寿命分布を求めた (図-1 下段)。

3. 混合マルコフ劣化ハザードモデル

(1) 混合マルコフ劣化ハザードモデル

マルコフ劣化ハザードモデルに対して、特性変数では表現しきれない要因 (不可観測要因) の影響を各トンネル単位に対して 1 つのパラメータに集約し、確率変数で表現する。このパラメータを異質性パラメータと呼び、異質性の影響を考慮したマルコフ劣化ハザードモデルを混合マルコフ劣化ハザードモデルとして定義する。同モデルの混合ハザード率は、2. のハザード率と異質性パラメータの確率的コンボリューションにより表される。

(2) 混合マルコフ劣化ハザードモデルの推計

灯具の目視点検データに基づき、混合マルコフ劣

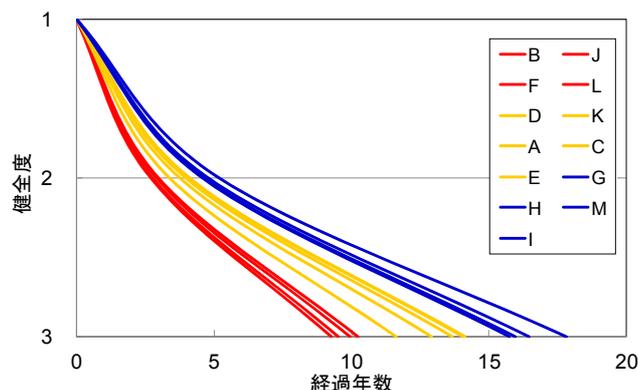


図-2 全 13 トンネルの期待劣化パス

化ハザードモデルのパラメータと異質性パラメータを階層ベイズ推計により推計した。混合マルコフ劣化ハザードモデルのようにパラメータが階層構造を持つモデルにおいて、全てのパラメータを同時に推計可能であることが階層ベイズ推計の特徴としてあげられ、実際のサンプルと整合性の高い異質性パラメータの推計が可能である。推計に際しては、2. と同様の特性変数を採用し、入口部から距離は 300m とした。図-2 にトンネル A~M の 13 トンネルに対する異質性を考慮した期待劣化パスを示す。健全度 1 の灯具が健全度 3 になるまでに要する期待寿命は、最短でトンネル B の 9.3 年、最長でトンネル I の 17.8 年であった。

4. おわりに

本研究では、従来、定量的な評価が困難であった灯具の劣化過程を混合マルコフ劣化ハザードモデルにより、異質性を考慮した灯具の期待劣化パスとして算出する方法論を提案した。一方で、今後の課題として、①灯具の劣化速度に大きな影響を与えると指摘されている凍結防止剤散布量の考慮、②本研究で行った劣化予測に基づいた灯具のライフサイクル費用の算出、③灯具の劣化、照明の不点、平均路面輝度、路面の輝度均斉度、グレア、誘導性といったトンネル照明に関する様々な要素間の関係性の視覚化、をあげることができる。

【参考文献】

1) 貝戸, 小林: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No2, pp.336-355, 2007.
 2) 小濱, 岡田, 貝戸, 小林: 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.