

混合マルコフ劣化ハザードモデルによる舗装劣化特性の地域間比較

大阪大学大学院工学研究科	学生員	○ 川本 熙鷹
西日本高速道路株式会社	正会員	中村 和博
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	小濱 健吾
大阪大学大学院工学研究科	正会員	貝戸 清之

1. はじめに

高速道路舗装の構造設計に適用している T_A 法は、一定のサービス水準を維持できる寿命を、舗装がおかれている環境や材料にかかわらず一律に確保することを目的として開発された設計法である。しかし、 T_A 法が導入されてから十分な年数が経過した現在において、舗装の劣化特性は、路線や区間によって異なっている。

そこで本研究では、PMS に蓄積されている膨大な路面性状データを地域間で比較し、舗装の劣化に影響を与える項目について考察する。具体的には、材料（骨材）特性として、配合設計におけるアスファルト被膜のはく離試験結果の値を、アスファルトプラントと高速道路本線の位置関係から逆距離加重法によりキロポストごとに与えた。また、構造特性として、舗装建設時の情報からアスファルト層厚さ（以下、 A_s 層厚）を抽出した。そして、PMS に蓄積されている IRI 値を IC 区間でグループ分けを行い、材料特性と構造特性を説明変数とした混合マルコフ劣化ハザードモデルで分析し、舗装劣化特性の地域間比較を実施した。本文は、これらの検討結果を報告する。

2. 混合マルコフ劣化ハザードモデルの概要

構造物の劣化速度を評価する際に使用する混合マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾について説明する。点検において構造物の健全度が離散的な I 段階で判定される場合、期間 z に健全度が i から j へ推移する確率 $\pi_{ij}(z)$ は、

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

と表される。 θ_i は健全度 i のハザード率、 l_k は道路区間グループ k のある単位区間、 ε^k は各路線における異質性である。点検データが $k(k=1, \dots, K)$ 個のとき、尤度は、

$$\mathcal{L}(\Xi) = \prod_{i=1}^{I-1} \prod_{j=i}^I \prod_{k=1}^K \prod_{l_k=1}^{L_k} \pi_{ij}(z^k)^{\delta_{ij}^k} \quad (2)$$

と表される。上式の尤度が最大となるパラメータを推定し、個々の道路区間の劣化速度の評価を行う。本研究

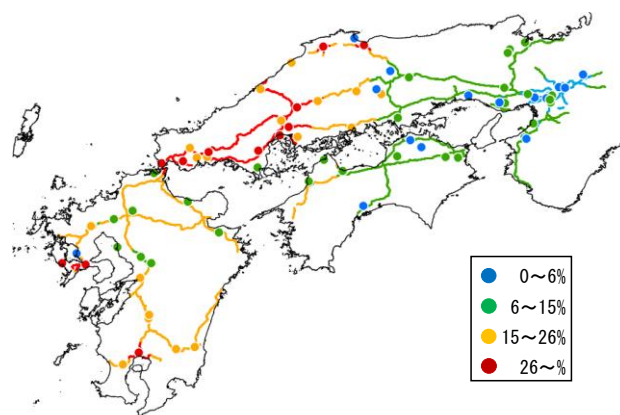


図-1 材料条件の補間結果

では説明変数に骨材のはく離面積率と A_s 層厚を採用し、IC 区間ごとにグループ分けを行い、混合マルコフ劣化ハザードモデルによる分析を実施する。

3. 分析結果

(1) 材料（骨材）特性の定量化

本検討では、材料特性を表す指標として、アスファルトプラントごとに実施されているアスファルト被膜のはく離試験結果を用いた。アスファルト被膜のはく離試験は、アスファルトを被膜した骨材を80℃の温水に30分間浸した後、アスファルト被膜のはく離面積率(%)を求める。この値が大きいほどアスファルトが剥がれやすい骨材という評価となる。図-1に示す○は、プラント位置をはく離面積率で区別している。次に、これらの値と路面性状の関係を分析するために、プラントと高速道路本線の位置情報をもとに、逆距離加重法を用いてキロポストごとのはく離面積率を算出した。プラント $i(i=1, \dots, I)$ について、プラントの位置情報を X_i 、プラントにおけるアスファルトはく離面積率を z_i とすると、ある地点 X におけるアスファルトはく離面積率は

$$\hat{z}(X) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i} \quad (3)$$

$$w_i = |X - X_i|^{-1}$$

と表される。逆距離加重法による補間結果は図-1のようになる。

キーワード 舗装マネジメント, IRI, 路面性状, 混合マルコフ劣化ハザードモデル, アセットマネジメント
連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 AR 棟

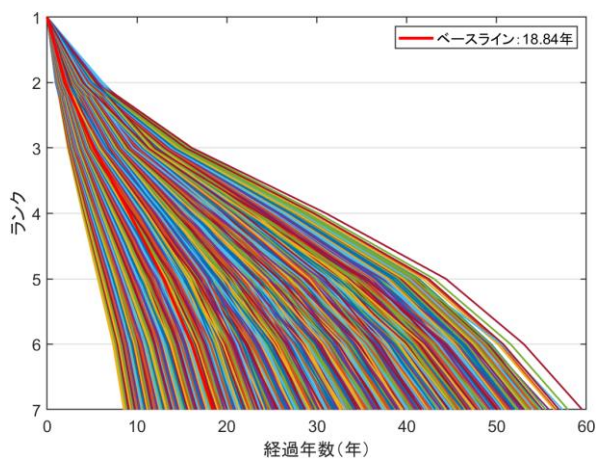


図-3 グループごとの期待劣化パス

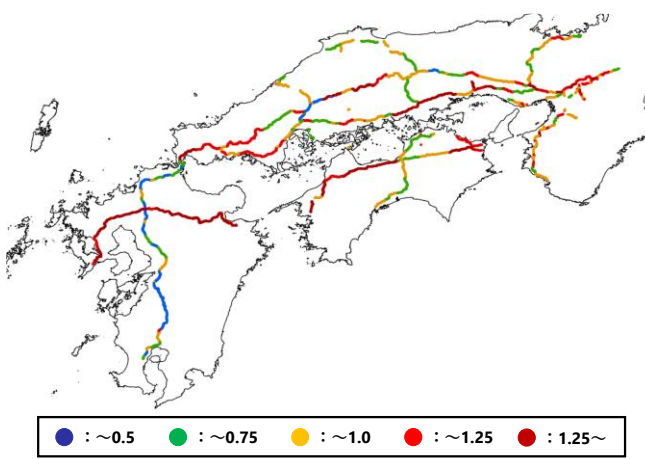


図-4 異質性パラメータの推定結果

(2) 混合マルコフ劣化ハザードモデルによる分析

本研究では、NEXCO 西日本が管理する高速道路舗装の路面性状調査で獲得される劣化管理指標から、IRI（評価長 200m）の調査データを分析に用いる。路面性状調査結果から混合マルコフ劣化ハザードモデルの推定に使用可能なサンプルを抽出すると 98,706 個のサンプルが得られた。本研究で分析に使用する説明変数は材料特性と構造特性を採用した。材料特性は、図-1 に示すアスファルト被膜はく離試験結果の補間結果を用いた。補間結果からはく離面積率 15%（NEXCO の配合試験基準値）を閾値として、15%未満=0、15%以上=1 として定義した。構造特性には As 層厚を採用し、最大値が 1 となるように正規化した値を定義した。このサンプルを用いて IC 区間ごとに高速道路舗装の劣化予測を行った結果を図-3 に、異質性パラメータの推定結果を図-4 に示す。期待寿命や異質性パラメータは各 IC 区間で異なり、舗装の劣化特性は路線や区間ごとに違いが存在することが読み取れる。また、表-1 のパラメータ推定結果から、As 層厚が厚いほど期待寿命が大きくなる（パラメータ値が負）ことがわかる。一方で、材料特性については、健全度ランクが 3 に到達するまでははく離面積率が高い区間ほど舗装の劣化が進行しやすくなり（パラメータ値が正）、それ以降は劣化の進行が遅くなる傾向（パラメータ値が負）がみられる。NEXCO 西日本では、骨材条件が悪い地域に対し、はく離防止剤や改質アスファルトの使用によるはく離防止対策を行っており、この効果により骨材条件が舗装の劣化に与える影響が限定的になっているものと推察する。また、図-1、図-4 から、材料特性は良好なものの異質性パラメータが大きくなっている区間が見られる。したがって、今後、気温や降水量といった環境条件が舗装の劣化に与える影響について、引き続き分析を続けていく。

表-1 パラメータ推定結果

健全度 ランク	βの推定量		
	定数項	材料特性	As 層厚
1	-0.23 (-0.44,-0.01) -1.62	-	-0.65 (-1.03,-0.28) 1.52
2	-0.88 (-0.96,-0.71) 1.63	0.33 (0.29,0.37) 0.39	-0.61 (-0.89,-0.51) -1.89
3	-0.53 (-0.66,-0.41) 1.87	0.11 (0.07,0.15) -1.53	-1.33 (-1.54,-1.12) -1.17
4	-0.55 (-0.63,-0.37) 0.19	-	-1.18 (-1.49,-1.07) -0.74
5	-0.67 (-0.93,-0.51) -1.94	-0.14 (-0.21,-0.07) -0.94	-0.65 (-0.89,-0.26) -2.07
6	-0.47 (-0.84,-0.15) -0.74	-	-0.56 (-0.93,-0.22) 0.71
φ	44.987 (44.81,45.195) 1.06		

4. おわりに

本研究では、混合マルコフ劣化ハザードモデルによる階層ベイズ推定により各 IC 区間の期待寿命と異質性パラメータを算出し、舗装劣化特性の地域間比較を行った。分析結果から、舗装の期待寿命は IC 区間ごとに異なり、As 層厚さが影響していることを確認した。今後は、気温や降水量といった環境条件と舗装の劣化の関係について、分析を進めていく。

【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定, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 68, No. 4, pp. 255-271, 2012.