

## 補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルの高速道路舗装への適用

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○吉田 伊織  
大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之

## 1. はじめに

国土交通省の舗装点検要領<sup>1)</sup>では、表層や基層の適時修繕による路盤以下の層の保護等を通じ、長寿命化に向けた舗装の効率的な修繕の実施が提唱されており、予防保全の導入が求められている。一方で、高速道路舗装の表層において高機能舗装が主流になるにつれ、従来の密粒度舗装とは異なる劣化機構が発生しており、これに適合した維持管理施策が必要である。本研究では、深層の保護を目的とした予防保全の導入に向けて、実際の高速道路舗装の劣化管理指標に補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルを適用し、舗装構成別の劣化曲線及び補修効果を推定する。

## 2. 高速道路舗装における劣化管理指標

我が国の高速道路では、安全性や走行快適性の観点から高速道路舗装が有すべき性能を照査するため、路面性状調査が定期的実施されている。この調査ではひび割れ率、わだち掘れ量、IRI (International Roughness Index) の3つの指標が獲得でき、それぞれの管理基準値と照合することにより補修区間の選定などの維持管理業務が行われている。このうち、IRIは路面の凹凸の程度を表す指標であり、クォータカーモデルを一定速度で走行させ、上下方向の運動変位の累積値と走行距離の比により算出される。

近年、高機能舗装特有の通水性に起因して舗装内部から離散的かつ局部的な破壊が生じる事例が増加していることを鑑み、本研究では表層や基層の補修後における残留変形を表現できる評価長 10m の IRI を劣化管理指標として用いる。

## 3. 補修を考慮した連続量劣化ハザードモデル

社会基盤施設における連続的な指標の劣化を表現するモデルとして水谷等<sup>2)</sup>の連続量劣化ハザードモデルがある。地点  $i (= 1, \dots, I)$  の劣化管理指標値  $x_i$  を次のように定式化する。

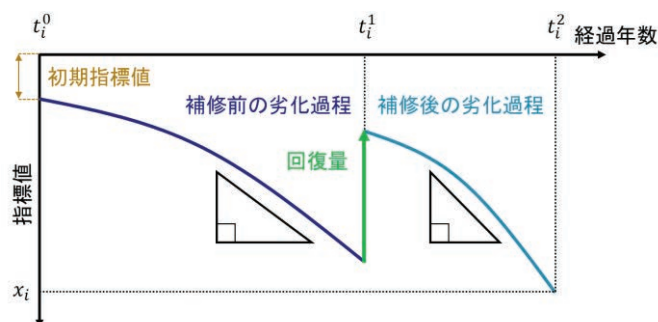


図-1 補修を考慮した劣化過程の概念図

$$x_i = \exp(-B_i) f(t_i, \boldsymbol{\beta}) \quad (1a)$$

$$B_i = \mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}' + \sigma w_i \quad (1b)$$

ここで、 $B_i$ は劣化特性の異質性を反映する指標であり、特性変数項  $\mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}'$  と誤差項  $\sigma w_i$  の和で表せる。 $\mathbf{z}_i = (z_i^1, \dots, z_i^M)$ は施設*i*の劣化に影響を及ぼす特性変数ベクトル、 $\boldsymbol{\theta} = (\theta^1, \dots, \theta^M)$ はパラメータベクトル、 $w_i$ は施設*i*に固有な劣化要因を表す確率誤差項、 $\sigma$ は偏差パラメータを表す。また、 $f(t_i, \boldsymbol{\beta})$ はベースラインモデルであり、 $t_i$ に関して単調増加関数を用いる。 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_N)$ はベースラインモデルを特徴づける未知パラメータベクトルである。補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルでは、図-1に示すような補修による回復量 $\eta$ 及び補修前後で劣化速度が異なる場合を劣化速度係数 $\alpha$ で表現する。ベースラインモデル $f(t_i, \boldsymbol{\beta})$ において、 $t_i$ が作用する項に劣化速度係数 $\alpha$ を乗じた関数を $g(t_i, \alpha, \boldsymbol{\beta})$ とすると、補修を考慮した劣化管理指標値は以下の式で表せる。

$$x_i + \eta_i = \exp(-B_i) \gamma + \exp(-B_i) g(t_i, \alpha, \boldsymbol{\beta}) \quad (2)$$

ただし、右辺第1項は初期指標値を表し、 $\gamma$ は $\boldsymbol{\beta}$ に依存するパラメータである。右辺第2項は単位時間当たりの低下量を表す。式(2)は補修が1回行われた場合を表しているが、右辺第2項の補修後の低下量及び回復量 $\eta_i$ を補修が実施された回数分を式(2)に付加することにより、任意の補修回数の場合を表現できる。

キーワード 連続量劣化ハザードモデル アセットマネジメント 舗装

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL : 06-6879-7622

表-1 劣化速度係数と回復量の推定結果

		事後分布統計量		
		期待値	上限5%	Geweke 検定統計量
			下限5%	
劣化 速度 係数	$\alpha_1$	1.684	1.695	-0.840
			1.664	
	$\alpha_2$	1.447	1.459	0.161
	1.427			
	$\alpha_3$	1.268	1.273	0.994
			1.260	
回 復 量	$\eta_1$	1.747	1.777	-0.102
			1.697	
	$\eta_2$	1.730	1.762	-0.138
	1.677			
	$\eta_3$	0.985	1.002	0.865
			0.955	

#### 4. 適用事例

高速道路会社（NEXCO）が管理する路線において、路面性状調査により収集した評価長 10m の IRI を用いる。また、該当箇所における補修記録と舗装構成を同時に獲得している。

分析においては、補修履歴のない区間を対象に連続量劣化ハザードモデルを適用し、劣化特性カテゴリ別の劣化曲線を推計する。次に、補修履歴のある区間に補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルを適用し、劣化速度係数 $\alpha$ と回復量 $\eta$ を推定する。

劣化特性カテゴリについては舗装構成に着目し、表層種別の区分である密粒度舗装・高機能舗装（以下、密粒・高機能と略す）、下層路盤種別の区分であるセメント安定処理路盤・粒状路盤（以下、セメ安・粒状と略す）を用いる。これらの交互作用を考慮した 4 種類の劣化特性カテゴリを定義する。分析により得られた劣化曲線を図-2 に示す。IRI10 の管理基準値を 10 に設定した場合、供用開始から管理基準値に至る年数は、高機能×粒状が 22.8 年で最も長く、密粒×セメ安が 20.7 年で最も短い結果となった。表層種別では高機能、下層路盤種別では粒状の方が比較的寿命が長くなると考えられる。

次に、補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルにより、補修層別に劣化速度係数 $\alpha$ 及び回復量 $\eta$ をマルコフ連鎖モンテカルロ法により推定した結果を表-1 に示す。参考として期待値とともに上限・下限 5% と Geweke 検定統計量の値を記載している。表中の $\alpha$ 及び $\eta$ の添え

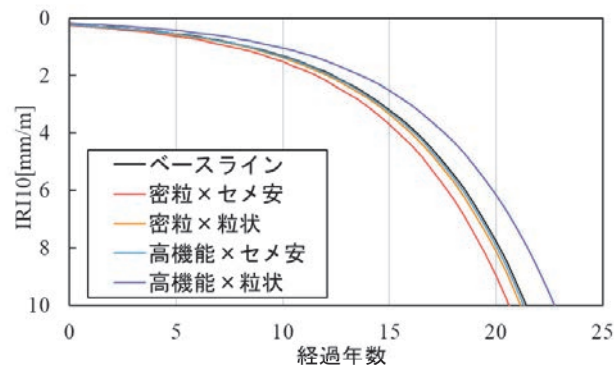


図-2 劣化特性カテゴリ別の劣化曲線

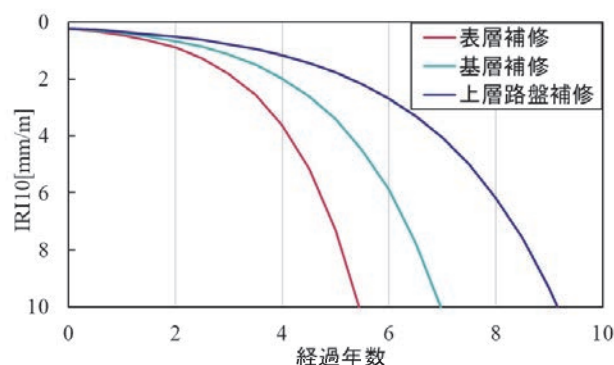


図-3 補修層別の劣化曲線

字は補修層（1：表層，2：基層，3：上層路盤）を表す。下層路盤補修については十分なデータを獲得できなかったため、分析対象から除外している。劣化速度係数について補修層が深いほど値が小さく、図-3 に示すように補修層が深いほど寿命が長く、劣化を抑制する効果が高いと考えられる。一方、回復量においては、表層・基層と比較して上層路盤の値が小さい。この原因として、ひび割れ率やわだち掘れ量の改善を目的として補修が実施されたことにより、IRI の回復量が過小評価されたことが考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、補修を考慮した連続量劣化ハザードモデルを IRI10 に適用し、舗装構成に着目した劣化特性カテゴリ別の劣化曲線を推計し、補修層ごとの劣化速度係数と回復量を推定した。劣化速度係数の比較から、補修層が深いほど劣化の抑制効果が高いと考えられる。一方で、回復量については過小評価している可能性があり、推定精度の向上を今後の課題としたい。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省道路局：舗装点検要領，2017。
- 2) 水谷大二郎，小林潔司，風戸崇之，貝戸清之，松島格也：連続量を用いた劣化ハザードモデル：舗装耐荷力への適用，土木学会論文集，Vol.72，No.2，191-210，2016。