

連続量を用いた劣化ハザードモデルによる、高速道路舗装の平坦性に対する劣化予測

大阪大学工学部 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 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

高速道路舗装の点検は、路面性状調査により定期的
 に実施されている。その際、路面の損傷状態を表すひび
 割れ率、わだち掘れ量、IRI 等の劣化管理指標が連続値
 で獲得される。点検データを用いた社会基盤施設の劣
 化予測に対しては、マルコフ劣化ハザードモデルによ
 る分析事例が多数存在しており、高速道路舗装につい
 ても同様の分析が行われている。マルコフ劣化ハザ
 ードモデルによる分析は、離散的な健全度指標を用い
 て行われる。そのため、高速道路舗装の劣化管理指標の
 ように連続値で獲得されるデータは連続値を離散的な健
 全度に置き換え、分析を行う必要がある。しかし、連続
 値を離散的な健全度に置き換える際に、連続値が本来
 持つはずの情報量が損失される。また、健全度のレーテ
 ィング設定の任意性が劣化曲線に影響を与えるといっ
 た問題が生じる。

本研究では、路面の平坦性を表す IRI の路面性状調査
 データを用いて高速道路舗装の表層を対象とした統計
 的劣化予測を行う。分析には連続量を用いた劣化ハザ
 ードモデルを用いる。連続量を用いた劣化ハザードモ
 デルは、連続値で獲得されるデータを離散化せずその
 まま用いて分析を行うことができるため、上記の問題
 を解決できると考えられる。また、マルコフ劣化ハザ
 ードモデルによる分析も併せて行い、それぞれのモデル
 による劣化曲線の比較を行うことにより、上記の問題
 が劣化曲線に与える影響を評価する。以下 2.では、本研
 究の基本的な考え方、3.では、連続量を用いた劣化ハ
 ザードモデル、4.では実証分析を通して、劣化曲線を構築
 しモデル間の比較を行う。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 高速道路舗装の維持管理と IRI

1980 年代以降、国内の高祖国道路舗装の表層に対し
 ては密粒度舗装が採用されてきた。密粒度舗装の主な
 劣化現象として広範囲のひび割れが存在する。一方、近
 年は高機能舗装が表層に広く採用されている。高機能
 舗装の導入以降、表層の劣化に変化がみられ、ポットホ
 ールやポンピングといった局所的な損傷が多く観測さ

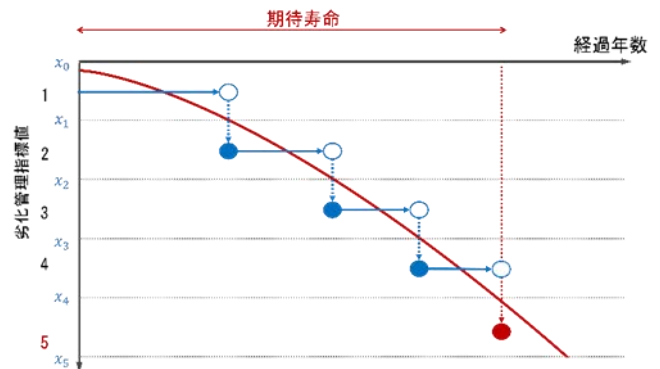


図-1 連続値指標と離散的指標

れるようになってきている。高速道路舗装の補修範囲の選
 定はひび割れ率やわだち掘れ量を重視した選定が行われ
 ている。一方でポットホールやポンピングなどの局
 所的な損傷が発生する場合は、上記 2 つの劣化管理指
 標によらず補修を行う事例が多数存在している。路面
 の損傷状態を正確に把握するためには路面の局所的な
 損傷を反映する劣化管理指標を用いることが必要とな
 っている。よって路面の平坦性を表す IRI の重要性は
 増している。本研究では路面の劣化指標として IRI (評
 価長 200m) を対象とし、連続量を用いた劣化ハザ
 ードモデルでの分析を行い劣化曲線を構築する。

(2) 連続量指標と離散的指標

マルコフ劣化ハザードモデルでは、図-1 に青色で示
 すように、連続量として観測される構造物の劣化管理
 指標に対して、離散的な健全度指標に置き換え記述さ
 れた IRI の劣化過程を構造物のパフォーマンスカーブ
 として推定を行う。一方、連続量を用いた劣化ハザ
 ードモデルでは、図-1 の赤色に示すように連続量とし
 て観測される構造物の劣化管理指標そのものを劣化パ
 フォーマンスと考え、その時間的推移を連続量を用いた劣
 化ハザードモデルを用いて表現することを目的として
 いる。本研究では、連続量を用いた劣化ハザードモデル
 により、高速道路舗装の表層について劣化曲線を構築
 する。併せて、マルコフ劣化ハザードモデルを用いて劣
 化曲線を構築しモデル間の比較を行う。

キーワード：路面性状、舗装マネジメント、IRI、連続量、劣化曲線

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

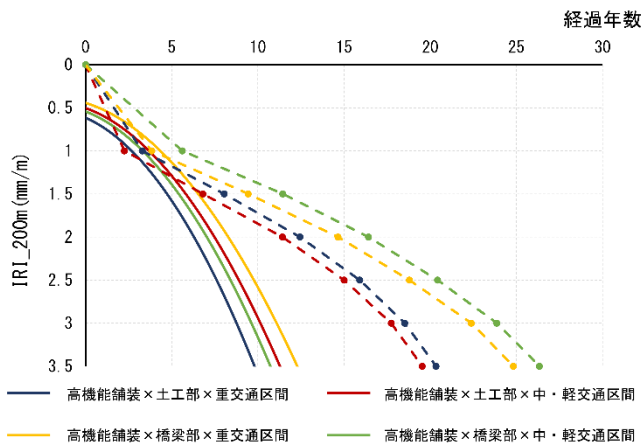


図-2 劣化曲線

3. 連続量を用いた劣化ハザードモデル

対象とする施設の劣化管理指標を x_i ，供用開始時点または補修更新時点からの経過時間を t_i と表す．劣化の進行過程を表す劣化ハザードモデルを

$$x_i = \exp(-B_i) f(t_i, \beta) \quad (1)$$

$$B_i = \mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}' + \sigma w_i \quad (2)$$

$(i = 1, \dots, n)$

と定式化する．ここで， B_i は施設 i の劣化特性の異質性を表す項であり，式(1)に表すように特性変数項 $\mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}'$ と誤差項 σw_i の和で表すことができる．式(2)について \mathbf{z}_i は施設の劣化に影響を及ぼす特性変数ベクトル， $\boldsymbol{\theta}$ はパラメータベクトル， w_i は施設に固有な劣化要因を表す確率誤差項， σ は偏差パラメータを表す．また， $f(t_i, \beta)$ はベースラインの劣化過程を表す劣化モデルであり， t_i に関して単調増加である． β はベースラインを特徴づける未知パラメータベクトルである．経過時間 T_i における期待劣化管理指標値 $E[x_i]$ は，

$$E[x_i] = \Gamma\left(\frac{1}{\kappa} + 1\right) \exp\left(\frac{\ln(T_i, \hat{\beta}) - \mathbf{z}_i \hat{\boldsymbol{\theta}}'}{\kappa \hat{\sigma}}\right) \quad (3)$$

で表すことができる． $\kappa = 1/\sigma$ である．記号「 $\hat{\cdot}$ 」は推定値を意味する．経過時間 T_i と期待劣化管理指標値 $E[x_i]$ の関係を表した曲線を劣化曲線として示す．

4. 実証分析

本研究では，NEXCO 西日本関西支社が管理する高速道路について，2015年から2020年までの路面性状調査で得られたIRI（評価長200m）に対して連続量を用いた劣化ハザードモデルを適用する．表層種別は高機能舗装に限定し，構造物（土工部または橋梁部）や交通量が劣化過程に与える影響を定量化するため劣化特性カテゴリを定義し分析を行う．併せてマルコフ劣化ハザードモデルによる分析も行い，モデル間の劣化曲線の差異について考察を行う．

図-2には，2つのモデルにより推定を行い，その結果から得られた高速道路舗装の平たん性についての劣化

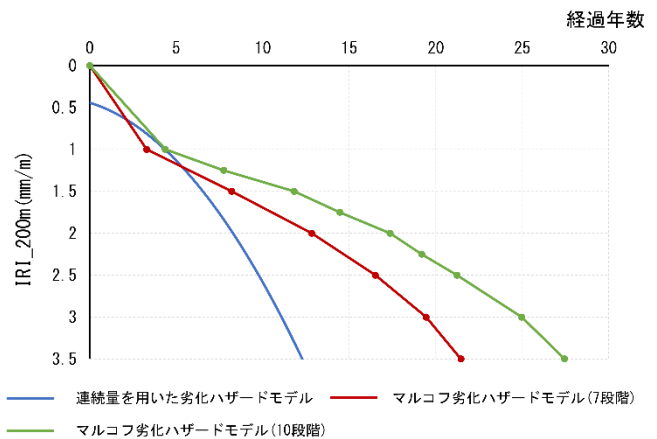


図-3 レーティングを再設定した劣化曲線

曲線を示している．実線が連続量を用いた劣化ハザードモデル，破線がマルコフ劣化ハザードモデルによる劣化曲線を表している．図-2よりモデル間で期待寿命に10年程度の差が存在している．また，マルコフ劣化ハザードモデルによる劣化曲線について，今回使用したデータでは，路面性状調査が実施された6年間において健全度の劣化が進んでいないデータの割合が高くなっている．すなわち，劣化曲線に差が生じた要因として，健全度のレーティングが連続値の情報を欠落させ，劣化を過小評価し，寿命の確率分布が高寿命側に偏った可能性が考えられる．

図-3には，前述の分析結果に加えて健全度のレーティングを10段階に変更した場合の分析により求まる劣化曲線を示す．図-3より，健全度のレーティングの細分化では，連続値を離散化する際の情報の損失は防ぐことができないと考えられる．また，レーティングの変更により劣化曲線が変化した場合は，レーティングの任意性により劣化曲線が変化したと考えられる．

5. おわりに

本研究では，高速道路舗装の平たん性を表すIRIの路面指標について，連続量を用いた劣化ハザードモデルとマルコフ劣化ハザードモデルによる分析を行い，連続値を離散的な健全度に置換する際の情報の損失及び健全度のレーティング設定の任意性が劣化曲線に及ぼす影響について考察を行った．期待寿命については連続量を用いた劣化ハザードモデルでの分析が，実務での経験的知見から得られる高速道路舗装の寿命との整合性がとれた結果となった．

【参考文献】

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 D3(土木計画学)，Vol. 72, No. 2, pp. 191-210, 2016.