

第V部門

連続量劣化ハザードモデルを用いた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

高速道路舗装の表層部の点検は、路面性状調査車両を用いて定期的に行われている。調査により、路面の損傷状態を表すひび割れ率、わだち掘れ量、IRIの3つの指標が連続値データとして獲得される。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、これらの路面指標についても、同様の分析がなされている。マルコフ劣化ハザードモデルによる分析は、離散的に判定された健全度指標を用いて行われる。そのため、高速道路舗装の路面指標のような連続値で獲得されるデータは連続値を離散化した健全度を用いて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う2つの問題が生じる。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2つの問題を解決できる。

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。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2つ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2つの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

1960年代以降、国内の高速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、近年表層には排水性を有した高機能舗装が広く採用されており、表層が密粒度舗装から高機能舗装に移り変わっている。高機能舗装の導入以降、表層の劣化についても

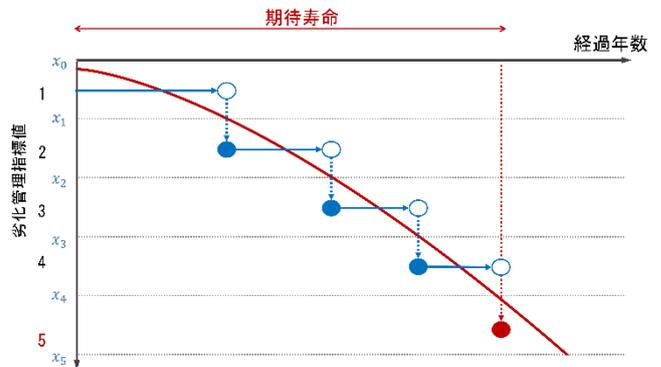


図-1 連続値指標と離散的指標

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観測されるようになってきている。現在行われている補修目標値に従った補修範囲の選定では、ひび割れ率やわだち掘れを重要視した選定が行われている。しかしながら、ポットホールやポンピングといった局所的な損傷が多発する場合は、これら2指標によらず補修を行う事例が少なくない。路面の損傷状態を正確に把握するには、路面の局所的な損傷を反映する劣化指標を用いることが必要となっている。

したがって、路面の平坦性を表すIRIの重要性は増している。よって、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ような舗装構造の劣化指標に対して、それらを離散的な健全度指標に変換して記述されたIRIの低下過程をパフォーマンスカーブとして推定していた。一方、連続量を用いた劣化ハザードモデルでは、図-1の赤色の曲線に示すように、連続量として観測されるような舗装構造の劣化指標を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する。本研究では、連続量を用いた劣化ハザードモデルにより、構造物の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た劣化曲線を構築し、モデル間の比較を行う。

Hiroataka KAWAMOTO, Kazuhiro NAKAMURA, Kengo OBAMA and Kiyoyuki KAITO

h.kawamoto@civil.eng.osaka-u.ac.jp

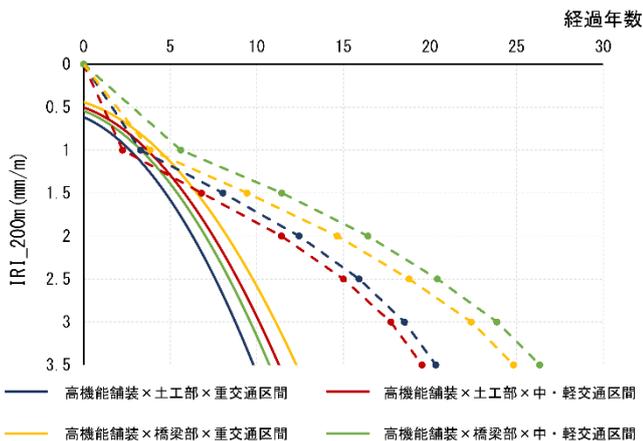


図-2 劣化曲線

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「 $\hat{}$ 」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

本研究では連続量を用いた劣化ハザードモデルを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, またその差異が生じた要因について考察を行う.

図-2には, 2つのモデルについて推定を行い, その結果から得られた高速道路舗装の平たん性の劣化曲線を

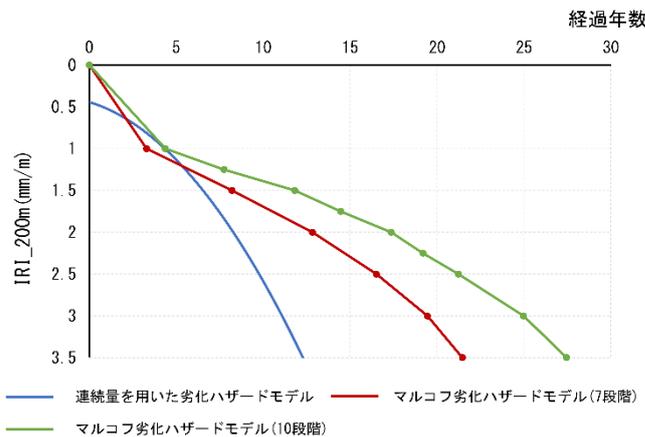


図-3 レーティングを再設定した劣化曲線

示している. 実線が連続量を用いた劣化ハザードモデルによる劣化曲線, 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ことがわかる. 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, 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を細分化することでは, 連続値を離散化する際の情報量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を行い, 劣化曲線に変化がみられた場合は, レーティングの任意性が劣化曲線に影響を与えていると考えられる.

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2通りの分析を行い, 連続値を離散的な健全度に置き換える際の情報量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. なお, 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】

- 1) 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.