

修繕履歴による劣化過程の異質性に着目した層別修繕効果の評価

大阪大学大学院工学研究科
大阪大学大学院工学研究科
大阪大学大学院工学研究科
京都大学経営管理大学院
中日本高速道路株式会社

学生員 ○新 雄成
正会員 笹井 晃太郎
正会員 貝戸 清之
フェロー 小林 潔司
正会員 神谷 恵三

1. はじめに

我が国の高速道路舗装は多層構造を有しており、表層材料が密粒度舗装から高機能舗装へと推移したことで、経年に伴う構造耐力力の低下が相まって、損傷部位の深層化が生じている。深層化する損傷に対して舗装維持管理の実務では、損傷状態に応じた層別修繕が実施されているほか、耐力力指標となる FWD (Falling Weight Deflectometer) 調査記録と修繕履歴のデータ化が進められてきた。舗装維持管理の効率化に向けては、これらのデータをもとにした舗装構造の劣化予測と層別修繕効果の評価に基づいて、戦略的な修繕計画の策定を推進していく必要がある。そこで本研究では、従来の劣化予測手法を拡張することにより、層別修繕効果を評価するための方法論を提案する。

2. 本研究の基本的な考え方

アスファルト舗装は道路表面から順に、表層、基層、上層路盤、下層路盤により構成される。表層は密粒度舗装と高機能（排水性）舗装に大別され、近年では高機能舗装が標準的に採用されている。その理由は、雨天時の交通事故低減や車両騒音の吸音等の付加機能を高機能舗装が有する点にある。これらの機能はポーラス構造により発揮されるものの、表層から基層上面へ雨水を通水させることとなり、損傷は基層以下の深層において発生しやすい。加えて、高速道路舗装は経年劣化の進行により構造耐力力が低下していることもあり、基層のみならず上層路盤まで打ち替える修繕が増えつつある。しかし、深層を対象とした修繕は費用や工事期間が高くなることとなり、予算の制約等からその修繕延長は減少する。今後は、傷んでから直すという対処的措置から戦略的な修繕計画の策定を図る必要がある。そのためには、対象層別の修繕効果を定量的に評価することが重要である。

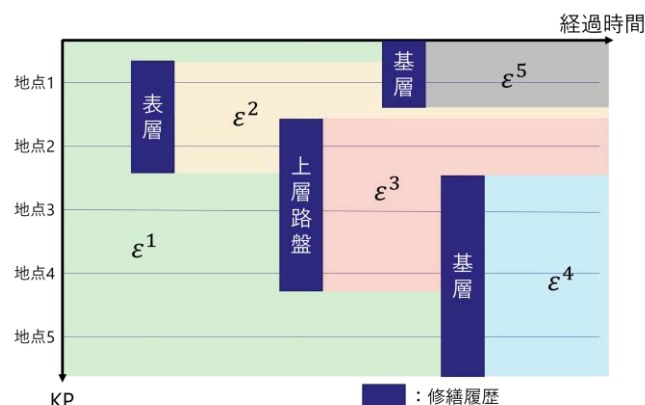


図-1 高速道路各地点・時点のグルーピングイメージ

貝戸等¹⁾は、従来の劣化予測手法であるマルコフ劣化ハザードモデルを拡張し、構造耐力力の経年による低下に加えて、修繕時の向上を表現できるモデルを提案した。具体的には、構造耐力力を離散的なランクに区分し、ランクが推移する様子を、1)経年により低下する劣化過程と 2)修繕時に向上する回復過程との複合過程として記述した。更に、劣化・回復過程における推移確率を推定するために、修繕直前・直後のランクを潜在変数と捉えモデル化し、耐力力調査データと修繕履歴をもとにした推定手法を提案した。これにより、修繕時に耐力力がどの程度回復したかを、推移確率として定量化することが可能となった。しかし、その一方で、修繕前後の劣化速度の差異を考慮できていない点が課題であった。修繕対象層より下層に損傷が蓄積する箇所では、その後の劣化速度にも影響することが想定されるため、本研究では、修繕前後の劣化速度の差異を推定するための方法論を提案する。具体的には、まず、図-1に示すように、FWD 調査が実施される直前の修繕履歴により高速道路の各地点・時点をグルーピングする。次に、グループごとの劣化速度の差異が異質性パラメータ ϵ に表れると考え、これを推定する。更に、推定された異質性パラメータの相対比較により、修繕による耐力力低下速度の抑制効果を評価することが可能となる。

キーワード 舗装構造, FWD, 層別修繕, 劣化異質性

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 AR 棟 605 号室 TEL 06-6879-7622

3. モデルの定式化

期間 z にランクが i から j へと推移する劣化過程の推移確率 $\pi_{ij}(z)$ は、ランク i の個別ハザード率 θ_i とグループ k における劣化異質性を表すパラメータ ε^k を用いて、

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

と表される。次に、回復過程のマルコフ推移確率をノンパラメトリックな離散確率分布で表現する。層別修繕 b によってランクが i から j へと推移する推移確率 r_{ij}^b は、

$$r_{ij}^b = \begin{cases} \alpha_{ij}^b & (i \geq j \text{ のとき}) \\ 0 & (i < j \text{ のとき}) \end{cases} \quad (2)$$

と表される。ただし、 α_{ij}^b は定数であり、

$$0 \leq \alpha_{ij}^b \leq 1 \quad (3a)$$

$$\sum_{j=1}^i \alpha_{ij}^b = 1 \quad (3b)$$

を満足する。推移確率をもとに完備化尤度関数を定式化し異質性パラメータのベイズ推定を行う。

4. 適用事例

本研究で提案したモデルを中日本高速道路株式会社が所管する高速道路において取得された FWD 調査データに対して適用する。耐荷力ランクは、損傷指標²⁾を5段階に区分し設定した。修繕履歴によりグルーピングを行った上で、サンプル数が極端に少ない ($n < 5$) グループを除いた 281 グループを考察の対象とする。

図-2 に、全 281 グループに対して求めた劣化パス(各ランクから次のランクに進むまでの期待年数を繋いだ曲線)を示す。同図から、ランク 5 に到達するまでの期待寿命が 5 年未満のものから、40 年以上のものまで存在することがわかる。ベンチマーク劣化パスでは期待寿命が 12.6 年であることを踏まえると、修繕後の劣化速度には大きな差異が生じていることがわかる。

図-3 に、推定した異質性パラメータを、グルーピングの際に用いられた修繕履歴がどの層を対象にしていたかにより、表層、基層、上層路盤、下層路盤、修繕履歴無しの 5 つに分類した上で、それぞれの箱ひげ図を示す。修繕対象層ごとの中央値に着目すると、深層を修繕対象としたときに、異質性パラメータは小さくなる傾向にあることがわかる。これは、深層を直すほど修繕後の劣化速度が小さくなる、すなわち、修繕による耐荷力低下速度の抑制効果が高いことを意味する。

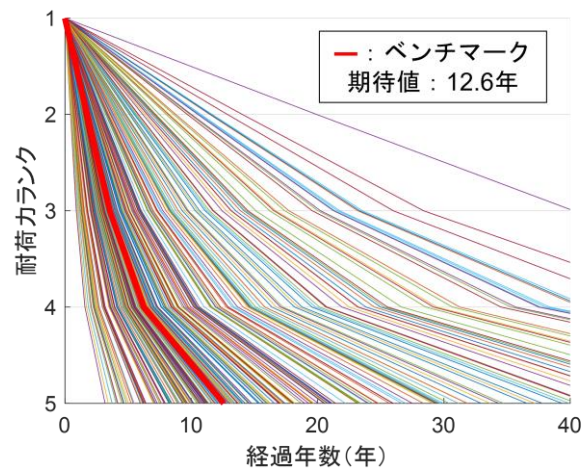


図-2 グループごとの劣化パス

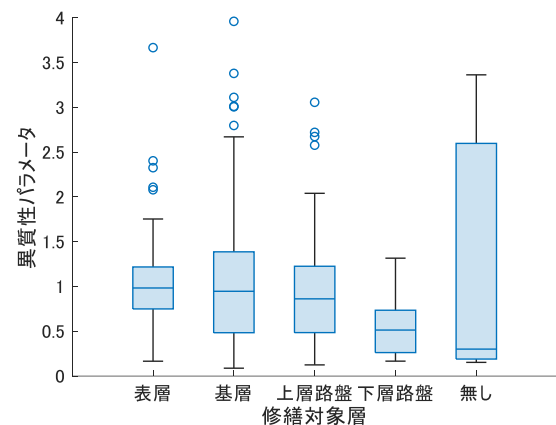


図-3 異質性パラメータ分布の比較

5. おわりに

本研究では、表層の高機能舗装化に伴い損傷部位・修繕が深層化する高速道路舗装を対象として、舗装構造の劣化予測、及び層別修繕効果の評価を行う方法論を提案した。具体的には、舗装構造の耐荷力推移を劣化・回復の複合過程として記述した上で、修繕前後の劣化速度の差異を異質性パラメータとして推定した。これにより、修繕による耐荷力低下速度の抑制効果を評価することが可能となった。

【参考文献】

- 1) 貝戸清之, 小林潔司, 神谷恵三, 新雄成: 劣化・回復過程を考慮した層別修繕によるたわみ回復量の評価, 土木学会論文集, Vol.79, No.1, 22-00130, 2023.
- 2) 神谷恵三, 風戸崇之: 高速道路舗装の損傷評価方法に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, Vol.13, pp.171-178, 2008.