

## 第VI部門

## たわみ量予測と劣化異質性推定に基づく舗装補修優先区間の選定

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○寇 主銘  
 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 貝戸 清之

## 1. はじめに

日本では高速道路の大部分に多層構造を有するアスファルト舗装が採用されている。昭和40年から平成10年にかけて、高速道路舗装の表層には主に密粒度舗装が用いられていたが、平成10年以降、雨天時の安全性等に優れた高機能舗装へと移り変わってきている。一方で、高機能舗装は排水構造であるため、舗装損傷は表層のみならず、深層部にまで進行する。ゆえに、深層部で生じている損傷を調査し、把握することが求められる。本研究では、舗装構造的健全度（耐荷力指標）を連続的に予測する補間的な手法の開発、および構造的健全度予測値と舗装劣化速度推定値に基づき調査、補修の優先区間を決定する方法論の提案を試みる。以下、2. では本研究の基本的な考え方について述べる。3. では舗装構造的健全度の予測に用いたニューラルネットワークの概要およびモデルの解釈性について述べる。4. では舗装路面指標劣化速度を推定する混合マルコフ劣化ハザードモデルの定式化および各未知パラメータの推定手法について述べる。5. では実証分析について述べる。

## 2. 本研究の基本的な考え方

現在、高速道路舗装の深層部に生じている損傷を調べるために3つの調査（FWD調査、コア抜き調査、開削調査）が実施されている。しかし、いずれの調査においても、実施の際に交通規制が必要となり、大規模な調査を展開することは困難である。そのため、得られた調査データは空間上で離散的に分布している。舗装の構造的健全性を大規模に把握することが求められているのに対し、現状の調査データ蓄積状況は十分とは言えない。それに対して、路面の損傷状態を調査するためには、路面性状調査が定期的に行われている。路面性状調査では、自動測定装置により高速道路舗装路面の劣化

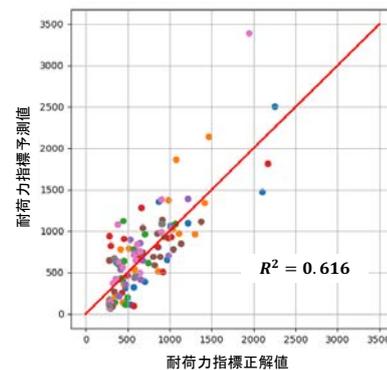


図-1 耐荷力指標予測モデルの訓練結果

状態を表すひび割れ率、わだち掘れ量、IRIの路面性状3指標を空間上で連続的に取得でき、これらのデータが大量に蓄積されている。このような背景を踏まえ、本研究ではまず、高速道路維持管理で蓄積されてきた大量の路面性状データと補修履歴、層厚等のスカラーデータを使用し、耐荷力指標（FWDたわみ量）を予測するモデルを訓練する。そして、訓練済の耐荷力指標予測モデルから、実証分析対象路線の全線における耐荷力指標を連続的に予測し、さらに、路面指標の劣化速度の推定を行う。最後に、耐荷力指標の予測値と路面指標の劣化速度推定値に関する管理閾値により調査・補修の優先区間を設定する。

## 3. 提案手法

本研究では耐荷力指標予測モデルとして機械学習手法の一つである順伝播型ニューラルネットワークを用いる。順伝播型ニューラルネットワークは生物脳内の構造を数学的に再現したモデルであり、層を重ねることにより表現力が向上する性質を有する。耐荷力指標を予測するために路面性状3指標、上層路盤層厚、下層路盤層厚、過去の補修履歴および路線・材質を特徴量として選出した。また、限られた耐荷力指標測定値から特徴量に対応できるものを正解値として予測モデルを訓

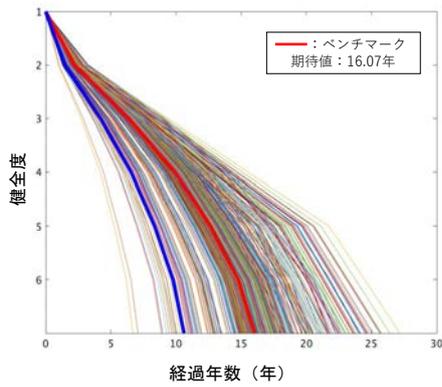


図-2 IRI 指標による劣化パス

練する．学習データを訓練データ，検証データ，テストデータに分割し，モデルの訓練を行った．過学習防止対策として，隠れ層の層間にドロップアウト層の実装や訓練過程の早期終了を用いた．その後，訓練過程で使用されていないテストデータを用いて精度の評価を行った．図-1 に示すように，予測値と正解値に相関があることから，予測モデルの精度が確認された．

#### 4. 混合マルコフ劣化ハザードモデル

各道路区間における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<sup>1)</sup>について説明する．点検において施設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

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

と表される． $\theta_i$ 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， $\varepsilon^k$ は各路線における異質性である．点検データが $k$  ( $k = 1, \dots, K$ )個の時，尤度は

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

と表される．MCMC 法によりパラメータを推定し個々の道路区間グループにおける劣化速度の評価を行う．

#### 5. 実証分析

2020年の点検データを用いて，提案手法の実証分析を行った．訓練済の耐荷力指標予測モデルにより全路線の耐荷力指標を予測し，混合マルコフ劣化ハザードモデルにより路面指標 (IRI) の劣化異質性の推定を行った．図-3 に分析結果と二軸評価の結果を示す．実証対象路線全体の平均期待寿命は 16.07 年となり，平均寿命からの偏り具合は劣化異質性パラメータとして推定

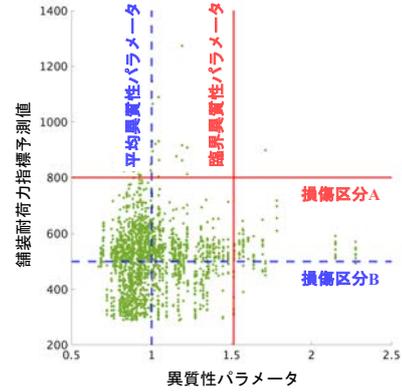


図-3 管理閾値による 2 軸評価

できる．閾値の設定に関しては，まず，劣化異質性パラメータの上位 5% に属するグループの最小値 (1.514) を臨界異質性パラメータ値として設定する．劣化の進行が平均劣化速度より速いか否かを判断するために，異質性パラメータを全グループの平均値 1 と比較することにより判断する．そして，耐荷力指標閾値に関しては，高速道路維持管理で使用されてきた損傷区分を用いる．下層路盤の種類ごとに閾値設定が異なるため，構成材質により場合分けをして検討する．例えば，臨界異質性パラメータと損傷区分 A により区分した 4 象限のうち，第 1 象限に属する道路区間に関しては路面指標の劣化速度が速く，耐荷力が著しく低下していると予測される．そのため，最優先に調査を行い，表層から路盤まで全面的な修繕・更新の必要性が高いと考えられる．

#### 6. おわりに

本研究では，順伝播型ニューラルネットワークを使用し，損傷部位が深層化する高速道路舗装を対象に，時空間上に点在する耐荷力指標測定値を連続的な路面性状指標および補修履歴等の特徴量により予測・補間する耐荷力指標予測モデルを構築した．加えて，高速道路対象区間ごとの劣化異質性を推定し，現時点の耐荷力指標の予測値と過去のデータを踏まえた劣化異質性パラメータ推定値を合わせて，舗装の維持管理を行う上での調査・補修優先順位を決定する方法論を提案した．

#### 【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計，土木学会論文集 D3, Vol. 68, No. 4, pp. 225-271, 2012.
- 2) 森悠，藤原栄吾，貝戸清之，小林潔司：相対評価モデルを用いた舗装構造の劣化診断，土木学会論文集 E1, Vol. 6, No. 2, pp. 91-110, 2011.