

第V部門

高速道路舗装における補修の影響と舗装層厚を考慮した層別耐荷力予測

大阪大学大学院工学研究科	学生員	○荒木 駿
(株) 高速道路総合技術研究所	正会員	風戸崇之
大阪大学大学院工学研究科	正会員	貝戸清之
京都大学経営管理大学院	正会員	小林潔司
大阪大学大学院工学研究科	学生員	田中晶大

1. はじめに

高速道路(土工部)のアスファルト舗装は層状の構造になっており、上から、表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。東日本高速道路、中日本高速道路および西日本高速道路(以下、NEXCO)管轄の高速道路では表層から上道路盤までは、アスファルトによって一体的に敷設され、アスファルト層(以下、As層)と呼ばれる。NEXCOでは高速道路上の各地点においてFWD(Falling Weight Deflectometer)調査を実施し、そのデータを蓄積している。FWD調査は路面に重錘を落下した時のたわみ量を測定することにより、舗装の耐荷力を測定することを目的とする。さらに、FWD調査は舗装の耐荷力を各層において求めることができる特徴を有する。舗装の耐荷力は一般的に道路が使用される年数が長くなるほど低下していくが、その低下の過程は様々な要因によって変化する。本研究ではその要因の一つである舗装の厚さの違いによる耐荷力低下の過程の違いを、FWD調査データを使用し、パフォーマンスカーブで表現する。これにより、舗装の補修戦略において重要な舗装の厚さの決定に有用な知見を提供する。その際に、補修の影響により耐荷力が回復した調査データに対し、データの補正を行う操作をする。以下、2で連続量劣化ハザードモデル、3で実証分析への適用結果について説明する。

2. 連続量劣化ハザードモデル

社会基盤施設の劣化を表現するモデルに田中等¹⁾の加速劣化ハザードモデルがある。本研究で用いる連続量劣化ハザードモデルは、加速劣化ハザードモデルを一般化したものとして踏襲する。連続量劣化ハザードモデルでは、地点*i*($=1, \dots, I$)について、劣化過程の進行を表す劣化ハザードモデルを、指標を x_i として、

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

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

と定式化する。ここで、 $\boldsymbol{\beta}$ はベースライン関数 f の未知パラメータのベクトルである。ベースライン関数は t_i に関して単調増加である。 $\mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}'$ は特性変数項を、 $\sigma \mathbf{w}_i$ は誤差項を表す。誤差項の $\mathbf{w}_i$ が標準ガンベル分布に従うとした場合、指標 x_i に到達するまでの実寿命 t_i の条件付き分布を表す確率密度関数は、変数変換を経て、

$$\tau(t_i | x_i, \mathbf{z}_i) = \frac{df/dt_i}{\sigma f} \exp \left\{ -\exp \left(-\frac{\ln f - \ln x_i - \mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}'}{\sigma} \right) - \frac{\ln f - \ln x_i - \mathbf{z}_i \boldsymbol{\theta}'}{\sigma} \right\} \quad (3)$$

と表される。式(3)を用いることにより、観測データ $\mathbf{z}_i = (\bar{x}_i, \bar{t}_i, \bar{z}_i)$ が与えられた際の尤度関数を定式化できる。本研究では特性変数を使用してアスファルト層厚を区別する。さらに、補修された後にFWD調査が行われた地点における調査データにおいては、補正率 ξ_j を用いて、観測された指標値 $\bar{x}_i$ を、

$$\tilde{x}_i = \xi_j \cdot \bar{x}_i \quad (4)$$

に補正し、 $\tilde{x}_i$ を用いて推計を行う。ただし、 j は補修特性を表しており、補修層や補修回数を考慮し、 n 種類の補修特性に分類して $\xi_1, \dots, \xi_n$ を設定する。補正率 ξ_j は観測することのできない潜在的な変数であり、これを用いて尤度関数は、

$$L = \int_1^\infty \int_1^\infty \dots \int_1^\infty \prod_{i=1}^I \prod_{h=1}^H \frac{df/dt}{f\sigma} \cdot \exp \left\{ -\exp \left(\frac{\ln f - \ln x_h^i - \ln \xi_j - \mathbf{z} \boldsymbol{\theta}'}{\sigma} \right) - \frac{\ln f - \ln x_h^i - \ln \xi_j - \mathbf{z} \boldsymbol{\theta}'}{\sigma} \right\} d\xi_1 d\xi_2 \dots d\xi_n \quad (5)$$

と表現できる。ここで $h(=1, \dots, H)$ は地点*i*における調査

Shun ARAKI, Takayuki KAZATO, Kiyoyuki KAITO, Kiyoshi KOBAYASHI and Akihiro TANAKA

s.araki@civil.eng.osaka-u.ac.jp

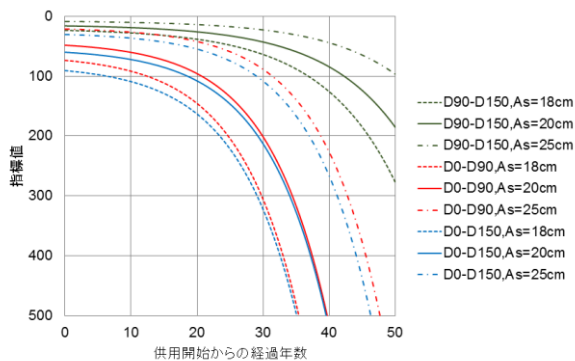


図1 舗装耐荷力の全パフォーマンスカーブ

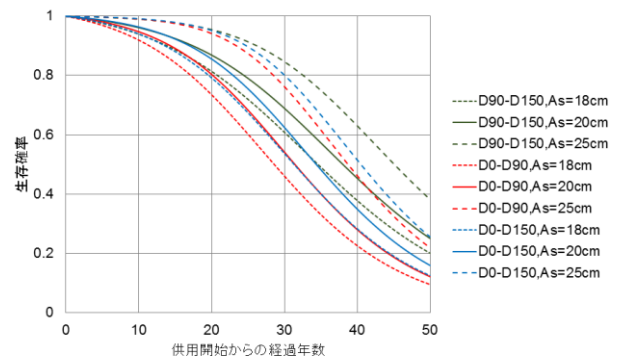


図2 供用開始時点における余寿命分布

回数を表す。本研究においては、マルコフ連鎖モンテカルロ法の反復計算により未知パラメータおよび補正率の統計量を算出することによりモデル推計を行う。推計されたパラメータを用いてマネジメント指標を導出することが可能になる。地点*i*において経過時間 t_i の時点で指標値が x_i に達していない確率を表す生存関数 St は、

$$St(t_i|x_i, z_i) = 1 - \exp\left\{-\exp\left(-\frac{\ln f - \ln x_i - z_i \theta'}{\sigma}\right)\right\} \quad (6)$$

と表され、経過時間 t_i の時点において、管理水準 X に到達するまでの余寿命が T である確率を表す余寿命分布 $\tilde{F}_i$ は、

$$\tilde{F}_i(T|X, t_i) = \frac{St(t_i + T|X, \bar{z}_i)}{St(t_i|X, \bar{z}_i)} \quad (7)$$

と表現できる。

3. FWD 調査データの適用

(1) 適用方法

NEXCO 管轄の高速道路において実施された FWD 調査データを使用する。FWD 指標としては、 $D_0 - D_{90}$ 、 $D_0 - D_{150}$ 、 $D_{90} - D_{150}$ の3つを用いる。これらはそれぞれ As 層、舗装全層、下層路盤の耐荷力を表す指標として NEXCO で用いられている。また、補修特性としては 48 種類に分類し、 $\xi_1, \dots, \xi_{48}$ を設定する。指標の管理水準としては、 $D_0 - D_{90}$ 、 $D_0 - D_{150}$ 、 $D_{90} - D_{150}$ のそれぞれにおいて、一般的に 250, 350, 80 に設定されている。ただし指標に用いる値は、FWD 調査において計測された値（単位:mm）に 10^3 倍を乗じた値を使用する。

(2) 適用結果

推計により推定されたパラメータを用いて、図1には耐荷力低下過程の過程を表すパフォーマンスカーブを、図2には供用開始時点における余寿命分布を掲載する。パフォーマンスカーブにおいては、確率変動項 w_i の値として標準ガンベル分布の期待値であるオイラー数 ($\gamma = 0.5722 \dots$) を使用している。図1、図2からは、As 層厚が 18cm, 20cm の地点の耐荷力低下の過程は同一の傾向を示し、25cm の地点よりも耐荷力低下がかなり早く進行することがわかる。また、 $D_0 - D_{90}$ 、 $D_0 - D_{150}$ 、 $D_{90} - D_{150}$ の指標ごとに耐荷力低下の過程も異なることから、As 層厚、舗装全層、下層路盤の各層において、As 層厚ごとに採用すべき維持補修戦略が異なることがわかる。

4. おわりに

本研究においては高速道路における舗装各層の耐荷力低下の過程を As 層厚ごとにパフォーマンスカーブで表現し、それぞれの余寿命分布を求めた。その過程において、補修の行われた後に計測されたデータの指標値については、観測されない補修の効果を加味するために補修の方法に同一の傾向がある補修特性ごとに補正率を設定し、補正された指標値を使用して推計を行った。

【参考文献】

- 1) 田中尚, 藤森裕二, 貝戸清之, 小林潔司, 安野貴人: 加速劣化ハザードモデル: コンクリート中性化予測への適用, 土木学会論文集 D, Vol.66, No.3, pp.329-341, 2010.