

路面性状調査データに基づく高速道路舗装の維持管理施策評価

大阪大学大学院 学生会員 ○山田 洋太

西日本高速道路株式会社 正会員 加藤 寛之

西日本高速道路株式会社 正会員 浜梶 方希

大阪大学大学院 正会員 小濱 健吾

大阪大学大学院 正会員 貝戸 清之

1. はじめに

高速道路舗装の維持管理においては、急速な老朽化の進展が予測されており、より効率的かつ経済的な維持管理施策の検討が求められる。このような社会的背景の中、現状の予算配分の見直しが不可欠である一方、ライフサイクル費用（以下、LCC）最小化のため、より多角的な施策検討が必要であると考えられる。そこで本研究では、特に補修戦略に着目し LCC 低減を検討した。具体的には、1) 目視点検データを用いた統計的劣化予測モデルである混合マルコフ劣化ハザードモデルを路面性状データに適用し、路線レベルの劣化予測を行った。2) 上記の劣化予測結果を用いた確率的シミュレーションによりリスク、LCC 評価を行い、高速道路における舗装の維持管理施策の評価を実施した。

2. モデルの概要

(1) 混合マルコフ劣化ハザードモデル

同モデルにおいては路線 k に固有なハザード率の変動特性を表す異質性パラメータ ε^k を導入する。このとき、路線 k の健全度 i における混合ハザード率を、

$$\lambda_i^k = \exp(\mathbf{x}^k \boldsymbol{\beta}_i') \varepsilon^k = \tilde{\lambda}_i^k \varepsilon^k \quad (i=1, \dots, I-1; k=1, \dots, K) \quad (1)$$

と定義する。ここで、異質性パラメータがガンマ分布から抽出された確率標本であると考え、さらに異質性パラメータ ε がハザード率の期待値が基準ハザード率 $\tilde{\lambda}_i^k$ に一致するように分布していると考え、平均 1、分散 $1/\phi$ のガンマ分布を仮定する。また、同モデルでは調査間隔 z における健全度 i から j への推移を表すマルコフ推移確率 $\pi_{ij}^k(z)$ を以下のように定義している。

$$\pi_{ij}^k(z) = \sum_{a=i}^j \prod_{m=i}^{a-1} \frac{\lambda_m^k}{\lambda_m^k - \lambda_a^k} \prod_{m=a}^{j-1} \frac{\lambda_m^k}{\lambda_{m+1}^k - \lambda_a^k} \exp(-\lambda_a^k z) \quad (2)$$

(2) 確率的シミュレーション

上記の劣化予測結果から得られたマルコフ推移確率に基づき、シミュレーションを実施する。同シミュレーションにおいては健全度の推移をサンプルパスにより表現し、 P 回のサンプルパス発生に対する期待値によりリスク、LCC を算出する。サンプルパス p における、基準年より $y(y=1, \dots, Y)$ 年後の道路区間 $d(d=1, \dots, D)$ のひび割れ率健全度を $c_d^{y,p}(c_d^{y,p}=1, \dots, C)$ 、IRI 健全度を $r_d^{y,p}(r_d^{y,p}=1, \dots, R)$ と定義する。その際の LCC は

$$LCC = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{y=1}^Y \sum_{d=1}^D E(c_d^{y,p}, r_d^{y,p})}{PY} \quad (3)$$

と表現される。ただし $E(c, r)$ はひび割れ率健全度が c 、IRI 健全度が r の時に実施される補修の費用を表しており、 D は全管理路線を路面性状調査の最小単位である 10m 区間に分割した場合の総分割数を表している。また、リスクを全管理路線の総延長に対する要補修区間の延長の割合と考え、以下のように定義している。

$$\Xi^y = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \delta_d^{p,y}}{PD} \quad (4)$$

$\delta_d^{p,y}$ は道路区間 d が基準年より y 年後に、補修が必要かどうかを表すダミー変数で、以下のように表される。

$$\delta_d^{p,y} = \begin{cases} 1 & (c_d^{p,y} = C \text{ または } r_d^{p,y} = R) \\ 0 & (c_d^{p,y} \neq C \text{ かつ } r_d^{p,y} \neq R) \end{cases} \quad (5)$$

3. 適用事例

(1) 適用事例の概要

上記の理論を NEXCO 西日本関西支社（以下、関西支社）の管轄する高速道路に対して適用した。11 事務所、30 路線に対して行われた 7 年間の路面性状調査で得られたひび割れ率、IRI に関するデータを用いており、サンプル数は総数 40 万以上に及ぶ。今回、舗装の表層種

キーワード 維持管理施策 混合マルコフ劣化ハザードモデル ひび割れ率 IRI リスク LCC

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 06-6879-7622 y.yamada@civil.eng.osaka-u.ac.jp

表-1 健全度ランク

健全度	ひび割れ率 (%)	IRI (mm/m)
1	$0 \leq Cr < 1$	$IRI < 1.0$
2	$1 \leq Cr < 5$	$1.0 \leq IRI < 2.0$
3	$5 \leq Cr < 10$	$2.0 \leq IRI < 3.0$
4	$10 \leq Cr < 15$	$3.0 \leq IRI < 4.0$
5	$15 \leq Cr < 20$	$4.0 \leq IRI < 5.0$
6	$20 \leq Cr$	$5.0 \leq IRI < 6.0$
7	-	$6.0 \leq IRI < 7.0$
8	-	$7.0 \leq IRI$

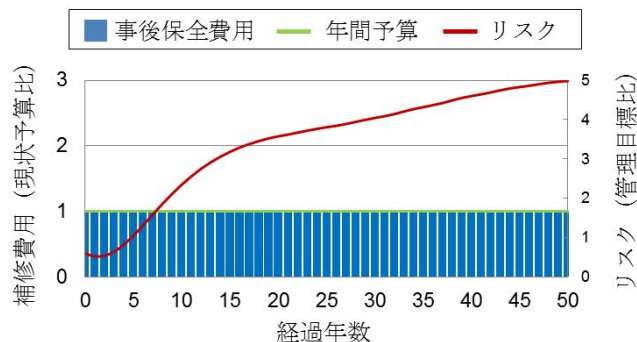


図-1 リスク、費用の推移（現状施策）

別の違いにより、舗装の劣化過程が大きく異なることが経験的に知られていることを踏まえ、データベースを評価指標、表層種別により4つに分割した。また、表-1にひび割れ率、IRIそれぞれの健全度の定義を示す。

(2) 分析結果

混合マルコフ劣化ハザードモデルによる劣化予測を行い、路線単位の劣化速度を個別評価した。さらに、劣化予測から算出されたマルコフ推移確率に基づくシミュレーションによりリスク、LCCの評価を行った。なお、補修費用、補修実施のタイミングについては関西支社で実際に用いられている基準を採用している。また、費用に関しては現在関西支社で割り当てられている年間予算を1とした比率により表記し、リスクに関しても関西支社内で設定されている管理目標を1とした比率を用いて表記している。シミュレーションの結果、図-1に示す通り現状の施策を継続した場合、50年後のリスクは管理目標の約5倍まで上昇することがわかる。そこで、本研究では高機能舗装における発生初期のひび割れを対象とする浸透型補修材を採用した場合のリスク、LCC低減の検討を行った。現時点では浸透型補修材による延命効果に関して十分な知見が得られていないため、本研究では健全度の回復により延

表-2 浸透型補修材の延命効果

	健全度の回復 (ひび割れ率)	劣化 加速率	延命 年数	50年後 リスク
1	2→1	1.0	13.6年	4.55
2	2→1	1.25	10.9年	4.62
3	2→1	2.0	6.8年	4.78

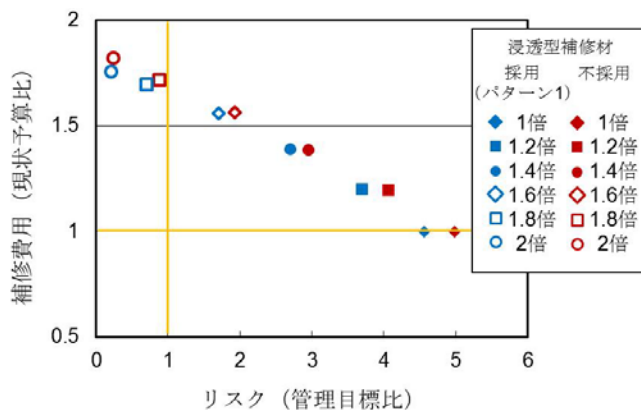


図-2 年間予算増額によるリスク、費用の関係

命効果を表現し、施工後の劣化速度が表-2に示す3パターンで増加すると想定し、各パターンに対して分析を行った。同表には長期保全計画の分析結果として、50年後のリスクを管理目標比にて併記している。同表より、いずれのパターンにおいても浸透型補修材を採用することでリスクに関する改善が見られた。

さらに、図-2には、凡例の倍率で年間予算を増額した場合のリスク、費用の関係を表している。同図では浸透型補修材の延命効果としてパターン1を採用した。同図から現状の年間予算の1.8倍の増額により、リスクを管理目標1以下に維持することが可能であるとわかる。また、年間予算が同額の場合、浸透型補修材を採用した方がリスクを低減することができる。

4. おわりに

本研究では路線単位の劣化予測および、それに基づくシミュレーションを実施しリスク、LCCの評価を行った。さらに、浸透型補修材の採用に着目し、リスク、費用の低減が可能であることを示した。

【参考文献】

- 小濱健吾、岡田貢一、貝戸清之、小林潔司：劣化ハザード率評価とベンチマーキング、土木学会論文集A, Vol.64, No.4, pp.857-874, 2008.
- (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱, 1978.