

マルコフ連鎖モデルによる舗装の維持管理手法の提案

大林道路㈱ 正会員 ○藤原 栄吾

大林道路㈱ 正会員 藤田 義憲

フォレストコンサルタント㈱ 正会員 石川 健

1. はじめに

近年、道路を資産(アセット)と捉え、損傷状況を把握して劣化予測を行い、費用対効果の高い補修を行うことにより道路の資産としての価値を高める道路のアセットマネジメント手法が注目されている。舗装にアセットマネジメント手法を適用する場合、舗装の劣化要因が交通量、気象、材料等多岐にわたるため、これらの要因に基づいて劣化予測を行なうよりも、統計的な劣化予測モデルを用いることが合理的である。そのなかで、マルコフ連鎖モデルは劣化予測に際して特定時点よりも前の情報を必要としないため扱いやすく、橋梁や舗装路面の統計的な劣化予測において同モデルを用いた研究が報告されている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

そこで本研究では、舗装のアセットマネジメント手法の導入を目指し、清瀬市にて実施した路面性状調査結果からマルコフ連鎖モデルを用いて劣化予測を行い、現況の路面性状を維持するための補修方法を提案する。

2. マルコフ連鎖モデルの適用

路面性状測定結果(平たん性、わだち掘れ深さ、ひび割れ率)から供用性指数(PSI)を20m間隔で算出し、路面の健全度を表す指標として表-1のようにランク化する。なお、表中の比率は今回の測定路線全体の各ランク割合を表している。

表-1 健全度のランク

ランク	PSI の範囲	比率(測定結果)	健全度
1	4~	0.505	高
2	3~4	0.398	
3	2~3	0.078	中
4	1~2	0.012	
5	~1	0.007	低

舗装の劣化予測を行うにあたり、任意の時点 A における健全度ランク i の路面の Δt 時間後にランク j に推移する確率が、時点 A の健全度のランクのみに依存し、それ以前の状態とは無関係な性質(マルコフ性)を有していると仮定する。また、ランク間の推移は、補修が

行われない限り低いランクへのみ発生し、 Δt 時間で 2 以上ランクが低下しないものとする。このとき、路面の健全度ランクの Δt 時間における推移は、図-1 のようなマルコフ連鎖モデルで表すことができる。

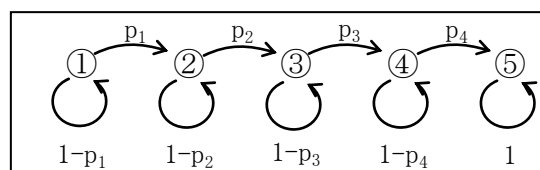


図-1 マルコフ連鎖モデル

図のモデルを(1)式の推移確率行列 P で表す。行列 P の成分 p_{ij} は、任意の時点 A でランク i の路面が Δt 時間後にランク j に推移する確率を表している。

$$P = \begin{pmatrix} 1-p_1 & p_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-p_2 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-p_3 & p_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-p_4 & p_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

次に、時点 A の路線全体のランク比率を行列 X で表す。このとき、 Δt 時間後の路線のランク比率 $X^{(1)}$ は、(2)式のように行列 X 、 P の積で求めることができる。

$$X^{(1)} = X \times P \quad (2)$$

$$\text{但し } X = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5)$$

同様に $2\Delta t$ 、 $3\Delta t$ 時間後のランク比率行列 $X^{(2)}$ 、 $X^{(3)}$ も(3)式から導くことができる。なお、 P^2 、 P^3 は推移確率行列の積を表している。

$$\begin{aligned} X^{(2)} &= X^{(1)} \times P = X \times P^2 \\ X^{(3)} &= X^{(2)} \times P = X \times P^3 \\ &\vdots \\ X^{(n)} &= X^{(n-1)} \times P = X \times P^n \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、補修後の路面性状と経過年数の関係から推移確率行列 P を求めるため、次の条件を設ける。

(条件)

- ①補修直後の路面の健全度ランクは全て 1 とする
- ②季節変動と劣化速度を考慮して Δt を 1 年とする

測定を実施した路線には補修後の経過年数が異なる舗装路面があり、(3)式と条件から経過年数 n 毎に推移確率行列 P を求めることができる。そこで測定データから求めたランク比率の実測値と(3)式の $X^{(n)}$ 行列成分の差の2乗にデータ数の重み付けを行い、全ての n, j の総和を求め、これを最小とする確率(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)の組み合わせを導出した。推移確率行列を表-2 に、これに基づく補修後の経過年数とランク比率の関係を図-2 に示す。

表-2 推移確率行列

ランク	1	2	3	4	5
1	0.882	0.118	0	0	0
2	0	0.953	0.047	0	0
3	0	0	0.923	0.077	0
4	0	0	0	0.951	0.049
5	0	0	0	0	1

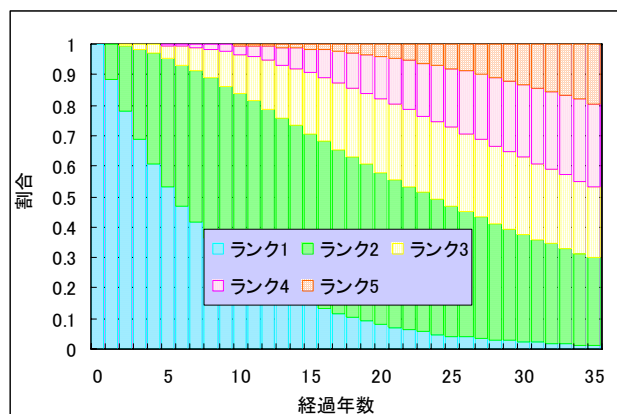


図-2 補修後のランク比率推移

3. 補修を考慮したマルコフ連鎖モデル

舗装の破損を防ぎ、道路の資産としての価値を維持していくためには定期的な補修が不可欠であり、補修が行われなければ、図-2 のように健全度の低いランクの路面の占める割合が高くなる。ここでは、特定のランクに属する路面の中から、一定割合で補修が行われる図-3 のモデルを提案する。

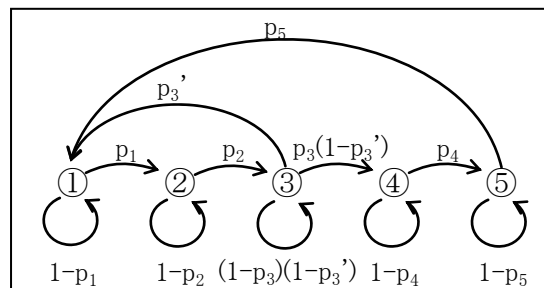


図-3 補修を考慮したマルコフ連鎖モデル

図-3 のモデルで路面のランク比率が毎年推移するとき、将来的にはランク比率の初期状態に対して独立な一定の比率(定常分布)に収束する。したがって、特

定ランクの路面に対して一定割合で継続的に補修することにより、健全度のランク比率を同じレベルに保つことが可能となる。

表-3 は補修を必要としないランク(1,2)と何らかの補修を行うことが望ましいランク(3,4,5)の現況の比率と定常分布の比率がほぼ等しくなるように補修割合を定めたときの推移確率行列を表している。また、図-4 はこのときの現況路面のランク比率の推移を示している。定常分布のランク 3 と 5 の比率(6%,0.7%)とその補修割合(45%,35%)から毎年の要補修箇所はランク 3 で全面積の 2.7%、ランク 5 で 0.2%となることが分かる。

表-3 補修を考慮した推移確率行列

ランク	1	2	3	4	5
1	0.882	0.118	0	0	0
2	0	0.953	0.047	0	0
3	0.450	0	0.508	0.042	0
4	0	0	0	0.951	0.049
5	0.350	0	0	0	0.650

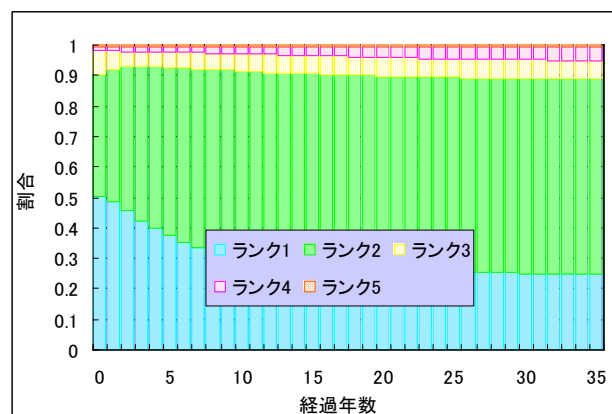


図-4 現況路面のランク比率推移(補修あり)

4. おわりに

本研究では、マルコフ連鎖モデルを用いて舗装の劣化予測を行い、一定割合で継続して補修を実施することにより健全度のランク比率の定常分布が得られることに着目して、現状の路面性状の水準を維持するために必要な補修割合の算出を行った。今後は、補修割合と定常分布の関係を示し、補修の費用対効果を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 武山・嶋田・福田：マルコフ連鎖モデルによるアスファルト舗装の破損評価システム,土木学会論文集,第 420 号 / V-13,pp135-141, 1990 年 8 月.
- 2) 國分・黒川・福原：PMS (舗装マネジメント)における舗装劣化予測方法の一考案,第 26 回日本道路会議論文集,20005, 2005 年 10 月.
- 3) 津田・貝戸・青木・小林：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定,土木学会論文集, No.801 / I-73, pp69-82, 2005 年 10 月.
- 4) 清野・田高・丸山：マルコフ連鎖モデルを用いた舗装劣化予測手法の検討,土木学会第 61 回年次学術講演会,pp301-302,2006 年 9 月.