

V-14

アスファルト舗装の供用性に関する信頼性評価モデル

東北大学 学生員 ○嶋田洋一
 東北大学 正会員 武山 泰
 東北大学 正会員 福田 正

1. はじめに

舗装の維持修繕計画を決定する際には、舗装の劣化状態すなわち供用性の予測評価が必要となる。しかしアスファルト舗装の場合、破損はわだちぼれ、ひびわれが少しずつ進行し、このような破損現象を理論的に予測することは難しい。そこで従来は経験的にこれらの破損の進行を予測評価していたが、本研究ではこれを確率統計論的にモデル化するために単純マルコフ過程を用い、東北地方のアスファルト舗装の供用性を予測評価した。

2. 信頼性評価モデルの作成

有限の n 個の状態のどれも取り得る確率系において、ある状態から他の状態への移行（遷移）が生ずる確率（遷移確率）は、一般にそれ以前の状態に依存するが、遷移確率が現在の状態のみで決まるとした場合の過程、すなわち単純マルコフ過程を仮定し、これを用いて信頼性評価モデルを作成した。

マルコフ過程では時刻 t で状態 X_i のものが1ステップ後の時刻 $t + dt$ で状態 X_k に移行する条件付き確率を、 E_i から E_k への遷移確率といい p_{ik} で表わす。

$$p_{ik} = \text{prob} [X(t+dt) = k \mid X(t) = i]$$

また、 p_{ik} を行列表示すると、

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}, \quad 1 \geq p_{ik} \geq 0$$

となり、これを遷移確率マトリックスという。各行の要素の和は1に等しい。また m ステップ遷移後の遷移確率マトリックスは P^m で表わされる。

3. 適用事例

東北地方のアスファルト舗装に関する路面性状調査結果と維持修繕調査結果を収集し、評価モデルのデータベースとした。路面性状調査結果は、東北地方建設局管内の一般国道を対象に、ひびわれ、わだちぼれおよび縦断凹凸量を求めるもので同一地点では3、4年に1回の割合で行なわれている。維持修繕調査は路面性状調査で得られた路面性状データに、道路管理データ並びに施工補修データを記録したものである。また供用性を表わす指標として道路維持修繕要綱のPSIを用いた。このPSIによって表-1 分類表舗装の状態を表-1のように5段階に分類した。

本研究で用いた資料は調査間隔が3年または4年であったが、この3年または4年の遷移確率から誤差が最も小さくなるように1年間の遷移確率マトリックスを求めた。この手法は、まず1年の確率マトリックス P を設定し、 m 年のデータの度数のマトリックス $N^{(m)}$ の各行の和を P^m を用いて割り振り、観測値との差の自乗の和をとる。行列の各要素を微小量ずつ変化させながら、差の自乗の和が最小となるマトリックスを決定するものである。交通条件別に得られたマトリックスを図-1に示す。

このマトリックスを m 乗することにより m 年経過後の遷移確率を求めることがで

状態	PSI
1	4～5
2	3～4
3	2～3
4	1～2
5	0～1

B 交通

$$\begin{bmatrix} 0.613 & 0.387 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.738 & 0.211 & 0.000 & 0.051 \\ 0.000 & 0.000 & 0.762 & 0.127 & 0.111 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.659 & 0.341 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

C 交通

$$\begin{bmatrix} 0.416 & 0.547 & 0.000 & 0.037 & 0.000 \\ 0.000 & 0.526 & 0.410 & 0.064 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.616 & 0.126 & 0.258 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.464 & 0.536 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

図-1 1年間の遷移確率マトリックス

きるが、状態5すなわち“舗装の破壊”に至らない確率を舗装の信頼性として表わすことができる。

新設状態の舗装（状態1）の設計寿命5年と10年における信頼性を表-2に示す。交通荷重の少ない方が信頼性が高いことが明らである。またC交通の新設状態の舗装の遷移確率の経年変化の例を図-2に示す。

表-2 舗装の信頼性

交通量	5年	10年
B交通	0.833	0.467
C交通	0.586	0.106

次に舗装が破壊に至るまでの年数の期待値、破壊に至るまでに各状態の占める年数の期待値を計算した結果を図-3に示す。このマトリックスの要素 m_{ik} は、状態 i の舗装が破壊するまでに状態 k である年数の期待値で、各行の合計が状態 i の舗装が破壊するまでの年数の期待値である。新設状態の舗装ではB交通でおよそ11年、C交通ではおよそ7年の舗装の破壊までの年数の期待値が明らかになった。

4. あとがき

本研究ではアスファルト舗装の供用性評価モデルに単純マルコフ過程を用いたが、このモデルを用いることによって回帰式等では表わせない予測評価のばらつきを遷移確率によって数量的に表わすことができた。また遷移確率マトリックスを操作することにより舗装の信頼性等を示した。

今後の課題としては、データ数を増やし信頼性の高いデータを抽出することによってデータバンクを充実させる必要がある。また種々の補修工法や交通量の変化にも対応できる遷移確率を求めることによってより精度の高いアスファルト舗装の破損評価ができるであろう。

〈謝辞〉

本研究の資料を収集、分析するにあたりご協力頂いた、建設省東北地方建設局東北技術事務所並びに本学卒業生の辻一洋氏（類設計室）に感謝の意を表します。

〈参考文献〉

建設省東北地方建設局東北技術事務所：路面性状調査および維持調査報告書

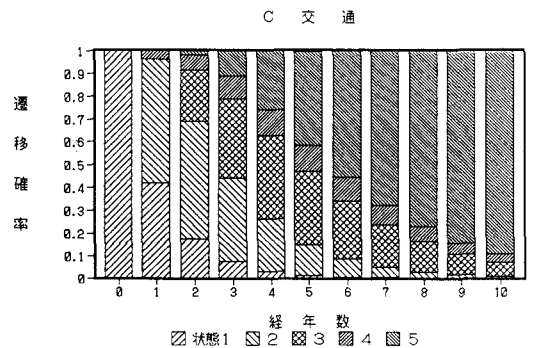


図-2 新設状態の舗装の遷移確率の経年変化

B 交通

(年)

$$\begin{bmatrix} 2.58 & 3.82 & 3.38 & 1.26 \\ 0 & 3.82 & 3.38 & 1.26 \\ 0 & 0 & 4.20 & 1.56 \\ 0 & 0 & 0 & 2.93 \end{bmatrix} \begin{matrix} 11.04 \\ 8.46 \\ 5.77 \\ 2.93 \end{matrix}$$

C 交通

$$\begin{bmatrix} 1.71 & 1.98 & 2.11 & 0.85 \\ 0 & 2.11 & 2.25 & 0.78 \\ 0 & 0 & 2.60 & 0.61 \\ 0 & 0 & 0 & 1.87 \end{bmatrix} \begin{matrix} 6.65 \\ 5.14 \\ 3.22 \\ 1.87 \end{matrix}$$

図-3 舗装が破壊するまでの年数の期待値