

# 寒冷地舗装の破損遷移に関するデータ解析

武山 泰\*・内村星史\*\*・福田 正\*\*\*

本論文は、東北地方における路面性状調査データを解析することにより、寒冷地におけるアスファルト舗装およびコンクリート舗装の破損遷移に関する評価を行ったものである。とくにデータ数の少ないコンクリート舗装については、ひびわれ度とわだち掘れ量の2特性値について2重指数分布関数による破損遷移モデルの構築を行い、これによりマルコフ連鎖確率を求めて破損遷移に関する評価を行った。

**Keywords:** pavement in cold area, pavement deterioration, data processing, reliability

## 1. まえがき

近年、国道等において道路管理者によって路面性状に関する調査が実施されるようになった。しかし、この調査は数年間隔に実施されており、データ解析に際してはデータ間の時系列的な関連性が不明の場合があること、またコンクリート舗装などの特定の属性に関してはデータ数が不足することなどの問題があり、舗装の破損遷移を十分に分析し評価することができない場合がある。

本研究においては、既に著者らが開発したマルコフ連鎖モデルによる破損評価システム<sup>1)</sup>と確率密度関数による破損遷移モデルを用いた手法<sup>2)</sup>を併用することにより、破損遷移を推計学的に解析するアルゴリズムを作成した。そしてこの事例研究として、東北地方におけるアスファルト舗装とコンクリート舗装の路面性状調査データに適用して、寒冷地における両者の舗装の供用性の比較を試みた。

## 2. データ解析のための基本モデル

### (1) マルコフ連鎖モデル

舗装状態を供用性指標などに基づいてランク1から、ランク $n$ までの $n$ 段階のランクで評価する。また、舗装の破損状態の遷移は、一定期間(ステップ)ごとの離散的な時刻においてのみ生起するものとする。このとき、舗装状態の遷移確率が現在の舗装状態のみに関係すると仮定するならば、舗装の破損遷移は一様マルコフ連鎖であり、舗装状態のランクの各組に対する遷移確率 $p_{ij}$ をマトリックス表示すると式(1)となる。

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $0 \leq p_{ij} \leq 1$ ,  $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$ .

舗装の状態を $n$ 段階のランクで評価した場合に、 $T=0$ 年における舗装の初期状態は式(2)の行ベクトルで与えられる状態確率で表される。

$$X(0) = [x_1(0) \ x_2(0) \ \cdots \ x_n(0)] \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $x_i(0)$ : 舗装が初期状態においてランク $i$ である確率

また、 $m$ ステップ遷移後の舗装の状態確率ベクトル $X(m)$ は式(3)で与えられる。

$$X(m) = X(m-1)P = \cdots = X(0)P^m \dots\dots\dots (3)$$

初期状態がランク $i$ である舗装が、終局的破損状態のランク $n$ に至るまでに、ランク $j$ に滞留する平均ステップ数は式(4)のマトリックス $M$ の要素 $m_{ij}$ であり、その各行の要素の和は、それぞれの初期状態の舗装が終局的破損状態に至るまでの平均ステップ数を表す。このことから、初期状態が良好な状態のランク1である舗装が吸収されるまでの平均ステップ数を求めて、新設の舗装の平均供用寿命を解析することができる。

$$M = [I - P]^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $M$ : 平均滞留ステップ数のマトリックス

$I$ :  $(n-1)$ 次の単位マトリックス

$P'$ : 遷移確率マトリックスから $n$ 行および $n$ 列を削除した $(n-1)$ 次の正方行列

### (2) 確率関数による破損遷移モデル

たとえば、コンクリート舗装といった特定の属性の舗装を解析の対象とし、その属性の舗装について得られる破損遷移のデータ数が少ない場合には、得られたデータ

\* 正会員 工修 東北大学助手 工学部土木工学科  
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

\*\* 元東北大学学生 工学部土木工学科 (現西松建設(株))

\*\*\* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

を基にある確率関数を適用して、破損遷移に関する情報量を補完することにより解析を行う。

ある年におけるひびわれ度、わだち掘れ量などの破損量の累積分布は、それまでの供用年数における破損量の確率密度とその年の破損量増加量の累積分布を用い、式(5)によって求めることができる。

$$G_T(x) = \int_0^x g_{T-1}(y) \cdot F_{m(y)}(x-y) \cdot dy \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 $G_T(x)$ ：供用年数  $T$  年における破損量の累積分布関数

$g_{T-1}(y)$ ：供用年数  $(T-1)$  年における破損量の確率密度関数

$F_{m(y)}(x-y)$ ：破損量が属する破損量の区分  $m$  における 1 年間の破損量の増加量の累積分布関数

ここで、関数  $F_{m(y)}(x-y)$  には、破損量の区分ごとに破損量の 1 年間の増加量を与える累積分布関数を用いる。この累積分布関数として、式(6)、(7)により与えられる極値統計理論における Gumbel の I 型最大値漸近分布関数として知られる 2 重指数分布関数<sup>3)</sup>を適用した。

$$F_X(x) = \exp[-\exp(-s)] \dots \dots \dots (6)$$

$$s = \alpha_m(x - u_m) \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 $x$ ：確率変数（区分  $m$  の破損量  $X$  の 1 年間の増加量）

$s$ ：標準値変量

$u_m$ ：区分  $m$  における確率変数の特性値

$\alpha_m$ ：区分  $m$  における確率変数の拡がり（ばらつき）の大きさを示す逆尺度

### 3. 路面性状調査データ

#### (1) 維持管理指数と舗装の評価ランク

維持管理指数 MCI (Maintenance Control Index) は道路管理者の目から見た路面性状の良し悪しを指標化したものである<sup>4)</sup>。これは次の式(8)、(10)、(11)、すなわち、MCI (縦断凹凸量が未測定の場合は式(9)の  $MCI_0$  を代わりに用いる)、 $MCI_1$ 、 $MCI_2$  の最小値をその舗装の MCI 値とするものである。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \dots \dots \dots (8)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \dots \dots \dots (9)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \dots \dots \dots (10)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \dots \dots \dots (11)$$

ここで、 $C$ ：ひびわれ率 (%)

$D$ ：わだち掘れ量の平均 (mm)

$\sigma$ ：縦断凹凸量の標準偏差 (mm)

セメントコンクリート舗装の場合、ひびわれ度をひびわれ率に換算して、同様の式を用いることとしている。

表-1 舗装状態の評価

ランク	M C I
1	7 ~
2	6 ~ 7
3	5 ~ 6
4	4 ~ 5
5	3 ~ 4
6	2 ~ 3
7	1 ~ 2
8	~ 1

この換算式は式(12)のとおりである。

$$C = h \cdot C_0 \dots \dots \dots (12)$$

$$h = 1 \quad (C_0 \leq 5 \text{ cm/m}^2)$$

$$h = \frac{C_0 + 25}{30} \quad (C_0 > 5 \text{ cm/m}^2)$$

ここで、 $C$ ：ひびわれ率 (%)

$C_0$ ：ひびわれ度 (cm/m<sup>2</sup>)

本研究においては、MCI 値を基に表-1 に示す 8 段階のランクによって路面の評価を行った。なお、舗装の修繕工法として一般的にはランク 4 において表面処理、ランク 5 においてオーバーレイ、ランク 6 以上で打換えが実施されているようであり<sup>5)</sup>、本研究においてはランク 6 を一応の終局的破損状態と定義した。

#### (2) データファイル

本研究で使用したデータは、建設省東北地方建設局から提供された路面性状調査によるものである。本調査は管内の一般国道を対象に、道路延長 100 m を 1 調査区間として 2 年~4 年ごとに路面状況を測定しているもので、ここでは昭和 52~62 年の調査データを用いた。

路面性状調査では、わだち掘れ量、ひびわれ率（コンクリート舗装の場合はひびわれ度）および縦断凹凸量が測定され、舗設年および調査前の最新 3 回までの補修に関する補修年・補修工法等のデータとともに磁気テープに収録されている。これらのデータに、昭和 60 年道路交通センサスから得られる交通区分のデータを補った。

コンクリート舗装をアスファルト混合物でオーバーレイした区間、トンネル・橋梁等の構造物区間、また延長が 100 m に満たない区間のデータは除外した。アスファルト舗装については 10,585 区間のデータ、またコンクリート舗装では 1,648 区間のデータをデータベースとした。

なお、本解析事例ではこの中から、標準的な交通区分であり比較的データ数の多い C 交通(大型車交通量 1,000~3,000 台/日・一方向)の場合を対象とした。舗装の供用成績は厳密には構造条件、地域的な環境条件、交通条件等の影響を受ける。しかし、分析において大量のデータを必要とすること、および東北地方の舗装の破損の主要な要因が冬期のスパイクタイヤによる摩耗であることから、舗装の構造条件の影響については今回の分析では考慮せず、スパイクタイヤ装着状況が異なる国道

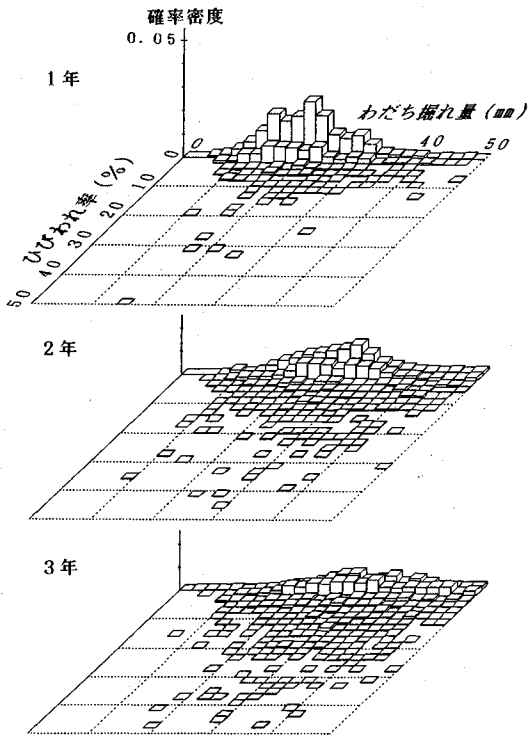


図-1 アスファルト舗装の2特性値の遷移

表-2 アスファルト舗装の遷移確率マトリックス (C交通の場合)

0	0.3282	0.2885	0.3833	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0.3464	0.3871	0.1371	0.1294	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0.4412	0.4374	0.0971	0.0243	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0.5207	0.3394	0.1033	0.0366	0.0000
0	0	0	0	0	0.6727	0.2784	0.0160	0.0329
0	0	0	0	0	0	0.7684	0.2316	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0.7037	0.2963
0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000

6号を除いたデータを取り扱うこととした。

#### 4. アスファルト舗装の破損遷移

##### (1) 2特性値の遷移

MCI式によれば、路面性状の評価はひびわれ率(またはひびわれ度)、わだち掘れ量、縦断凹凸量の3特性値の影響を受けるが、特にひびわれ率とわだち掘れ量の2特性値に大きく依存している。そこで、ここではひびわれ率とわだち掘れ量の2特性値の状態を直交2軸による平面上に、そしてその確率密度を縦軸に示し、2特性値の遷移状態を3次元的に表現することとした。

図-1に、データより得られたアスファルト舗装の新設または補修後3年間の2特性値の遷移状態を示す。これより東北地方のアスファルト舗装の路面性状がわだち掘れの急速な進行によって悪化していく様子が明瞭に判る。

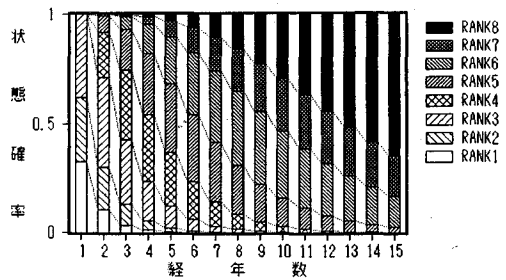


図-2 アスファルト舗装の状態確率の経年変化 (C交通の場合)

表-3 アスファルト舗装の供用寿命の期待値 (C交通の場合)

1.49	0.66	1.48	1.54	2.29	3.59	3.12	7.46
	1.53	1.06	1.40	2.38	3.59	3.11	6.37
		1.79	1.63	2.22	3.59	3.13	5.64
			2.09	2.16	3.53	3.13	4.25
				3.06	3.67	3.04	3.06
					4.32	3.37	
						3.37	

##### (2) 評価ランクに関する遷移確率マトリックス

アスファルト舗装のデータに2.(1)のマルコフ連鎖モデルを適用し、状態確率の遷移を求めた。

本研究で用いたデータは調査間隔が3年または4年のデータであるので、これを1年間の遷移確率マトリックスに次の方法<sup>1)</sup>で変換した。この方法は式(3)に基づくもので、まず調査間隔年数ごとに、調査間に補修が行われていない区間について舗装ランクの状態遷移の度数を集計して遷移度数のマトリックス $N^{(M)}$ を求める。つぎに状態遷移確率マトリックス $P$ の初期値を与え、推定される遷移度数のマトリックス $N^{(M)'}$ と $N^{(M)}$ の各要素の差の自乗和が最小となるマトリックスを、 $P$ の各要素を式(1)の条件を満足させながら微小量ずつ変化させる繰り返し計算により求め、これを1年間の遷移確率マトリックスとした。

C交通において得られた遷移確率マトリックスは表-2のとおりである。また、この遷移確率マトリックスより、式(3)を用いて15年間の状態確率の経年変化を求め図-2に示した。

式(4)を用いて、舗装がランク8に至るまでに各ランクに滞留する年数の期待値、およびランク6を終局的破損状態として、そこに至るまでの年数、すなわち供用寿命の期待値を計算した結果を表-3に示す。C交通において良好な状態のランク1にある舗装では、平均供用寿命は約7年となる。

#### 5. コンクリート舗装の破損遷移

##### (1) わだち掘れ遷移

解析事例のC交通におけるコンクリート舗装は1,648区間であり、パッチング等の補修が行われた38区間のデータを除外して、わだち掘れ量データとして表-4に

表-4 わだち掘れ量のデータ数 (C交通)

供用年数(年)	わだち掘れ量D(mm)のデータの区分								計
	D1	D2	D3	D4	D5				
	0~5	~10	~15	~20	~25	~30	~40	~50	
0	99								99
1	40	64	9						113
2	31	28	28	4					91
3	52	155	54		1	1			263
4	15	117	40	6					178
5	34	83	26	9	4	1			157
6	1	39	81	43	40	21	2		227
7		49	116	10	2				177
8	2	42	78	19					141
9		15	51	5	2		18	4	95
10		34	53	62	2				151
11	7	90	137	24	8	2	1		269
12	10	49	95	23	6	1	2		186
13	7	19	64	21	14	2			127
14	7	119	20	16	1				163
15	51	242	61	26	9	8	2		399
16	2	20	70	47	14				153
17		11	33	7	2	4	7		64
18		4	12	24	29	3			72
19		2	1	1	3				7
20	2	3		4	9	1			19
21		1	5	20				1	28
22	2	5	6		2	2			17
23		1							1
24			20	28	4				52
25		1							1
26			1						1
計	362	1193	1061	399	152	47	32	5	3251

示す3,251データ、わだち掘れ量遷移について2,033データが得られた。これらのデータはわだち掘れ量に関して、その度数分布に偏りがあり、かつ遷移確率マトリックス(式(1))を直接的に得るために必要なデータ数に不足している。そこで、本研究では2.(2)の破損遷移モデルを構築し、これによりデータを補完して遷移確率マトリックスを求めることにした。

a) 2重指数分布関数のパラメータの設定

式(7)の2重指数分布の標準値変数  $s_i$  は、順序統計論によって、各データの非超過確率として式(13)で表せる。

$$s_i = -\ln\left(-\ln\left(\frac{i}{N+1}\right)\right) \dots \dots \dots (13)$$

ここで、 $s_i$ : 小さいほうから  $i$  番目のデータの標準値変数

$N$ : データ数

2重指数分布のパラメータ  $u_m, \alpha_m$  は、式(13)によって求めた  $s$  とデータ値  $D$  との直線回帰式(式(14))の勾配を表す係数  $B$  と切片を表す係数  $A$  から、式(15)、(16)により求めることができる。

$$D = A + B \cdot s_i \dots \dots \dots (14)$$

$$u_m = A \dots \dots \dots (15)$$

$$\alpha_m = \frac{1}{B} \dots \dots \dots (16)$$

表-5 わだち掘れ量の増加量分布関数のパラメータ

区分	わだち掘れ量 D (mm)	u	$\alpha$
D 1	$D \leq 5$	1.619	0.518
D 2	$5 < D \leq 10$	0.933	0.492
D 3	$10 < D \leq 15$	0.092	0.362
D 4	$15 < D \leq 20$	0.144	0.372
D 5	$20 < D$	0.695	0.242

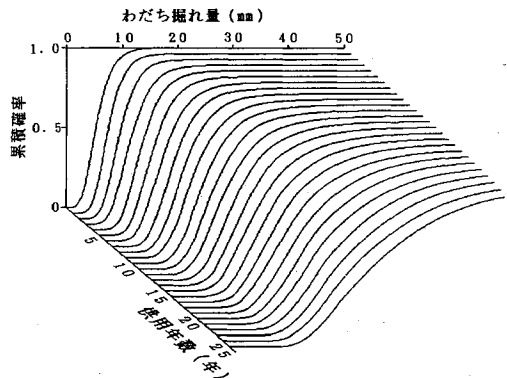


図-3 わだち掘れ量の累積確率の経年変化

なお、2重指数分布関数は、確率変数に負の値をとり得るが、この場合、わだち掘れ量の増加量が0に相当するものとして定義する。

わだち掘れ量の遷移モデルにおいては、路面性状調査が一般に3年間隔で実施されていることから、わだち掘れ量の各ランクごとにわだち掘れ量の3年間における増加量分布として、2重指数分布関数のパラメータを設定した。決定したパラメータを表-5に示す。

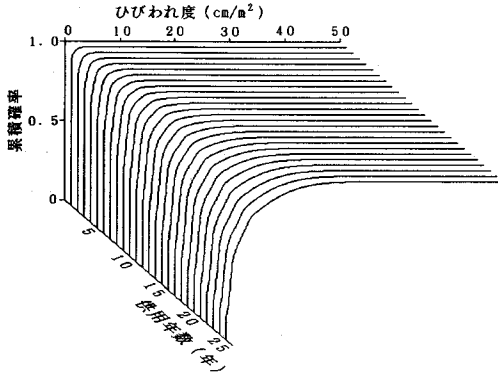
b) 初期状態における路面状態の設定

路面性状調査では、供用開始年 ( $T=0$ )、すなわち1年を経ない状態におけるわだち掘れ量として、99区間で5mmの値が得られている。実際のわだち掘れ量は、平均値が5mm程度で分布しているものと考えられる。そこで、供用後3年目の実測データの平均・分散と5.(1)a)により得られる3年間の増加量の平均・分散から供用開始年におけるわだち掘れ量の平均・分散を推定し、その分布を決定することとした。

供用開始年におけるわだち掘れ量の分布形についても2重指数分布を適用した。そのパラメータの決定にあたっては供用3年目の実測データを基準とし、次のように行った。まず、供用開始年のわだち掘れ量の2重指数分布のパラメータ  $u_0, \alpha_0$  を試行的に与えて、式(5)の数値積分を行い、供用3年目のわだち掘れ量の分布を求める。そして、得られる供用3年目のわだち掘れ量の分布の平均・分散が実測データの平均・分散と一致するまで、分布パラメータの値を変えて繰り返し計算を行う。この結果、供用開始年の分布パラメータとして、 $u_0 = 4.61, \alpha_0 = 0.550$  を得た。これより、供用開始年のわだち掘れ量の平均および標準偏差はそれぞれ  $\mu_0 = 5.71$

表—6 ひびわれ度の増加量分布関数のパラメータ

区分	ひびわれ度 $C$ (cm/m <sup>2</sup> )	$u$	$\alpha$
C 0	$C = 0$	-1.683	1.55
C 1	$0 < C \leq 1$	-0.255	5.68
C 2	$1 < C \leq 2$	-0.722	1.45
C 3	$2 < C \leq 4$	-0.212	2.26
C 4	$4 < C$	-0.223	1.08



図—4 ひびわれ度の累積確率の経年変化

(mm),  $\alpha_0=2.33$ (mm) となる。

また、これらのパラメータを用いることにより、式(5)によってわだち掘れ量の累積分布を求めると、図—3のようになる。

(2) ひびわれ度遷移

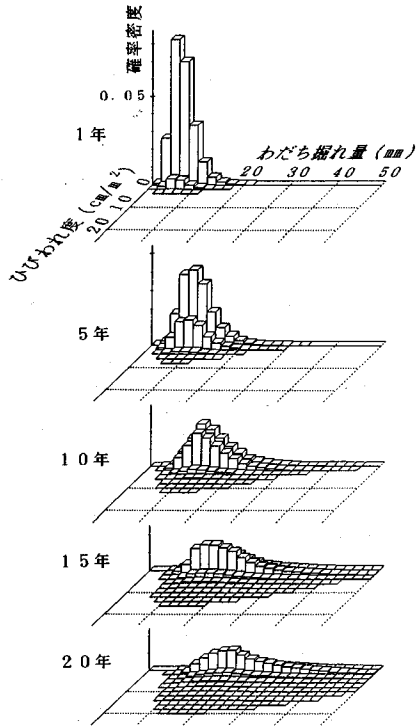
著者らはひびわれ度に関して既に解析を行い、報告している<sup>2)</sup>。ひびわれに関してはコンクリート版厚の影響が大きいことから、解析の対象としたデータはC交通、版厚23cmの198区間、327データに限定した。得られたひびわれ度の増加量分布関数のパラメータは表—6のとおりである。この数値を用いて、式(5)によるひびわれ度の累積分布を計算すると、図—4のようになる。

(3) 2特性値の遷移

5.(1)で求めたわだち掘れ量、および5.(2)のひびわれ度の遷移モデルから、これらの2特性値による遷移を表現することができる。わだち掘れ量を2mm単位、ひびわれ度を2cm/m<sup>2</sup>単位として供用年数ごとの確率密度分布を図—5に示した。これによれば、寒冷地のコンクリート舗装のMCI値遷移に与える影響は、ひびわれと比べて、わだち掘れがより大きな比重を占めることが判る。

(4) 評価ランクに関する遷移確率マトリックス

コンクリート舗装に関しては、とくに低いランクのデータが少ないことから4.(2)で述べた手法で遷移確率マトリックスを求めることが困難である。そこで、わだち掘れ量およびひびわれ度の遷移モデルに基づいたシミュレーションによりデータを補完して遷移確率マトリックスを決定することとした。わだち掘れ量のシミュレーションは式(17)により行うことができる。



図—5 コンクリート舗装の2特性値の遷移

レーションは式(17)により行うことができる。

$$D_{T+3} = D_T + \Delta D_m = D_T + u_m - \ln(-\ln(RND)) / \alpha_m \dots \dots \dots (17)$$

ここで、 $D_{T+3}$ : T+3年目のわだち掘れ量

$D_T$ : T年目のわだち掘れ量

$\Delta D_m$ : T年目~(T+3)年目の3年間におけるわだち掘れ量の増加量

$m$ : T年目のわだち掘れ量Dが属するわだち掘れ量の区分

RND: (0~1)の一様乱数

ひびわれ度についても、同様の手法によりシミュレーションを行った。

シミュレーションによるデータの補完は、補修が実施された38区間について、補修が行われなかった場合のわだち掘れ量、および、ひびわれ度の遷移を推定することにより行った。シミュレーションは、補修が行われた直前の調査値から遷移モデルにより、3年間毎のわだち掘れ量、ひびわれ度の値を推定し、舗装がランク8に至るまで行った。そして、その間のMCI値によるランクの遷移頻度を調査データにより得られた3年間の遷移頻度に加算した。MCI値を求める際には、縦断凹凸量は未測定であるものとして、MCI<sub>0</sub>を用いた。

シミュレーションにより補完した遷移頻度から求めたコンクリート舗装の遷移確率マトリックスを表—7に示

表-7 コンクリート舗装の遷移確率マトリックス (C交通の場合)

0.8179	0.1821	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0.8328	0.1672	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0.8671	0.1323	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0.8135	0.1865	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0.8181	0.1819	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0.8465	0.1535	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589	0.0000	0.0000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8411	0.1589
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0000

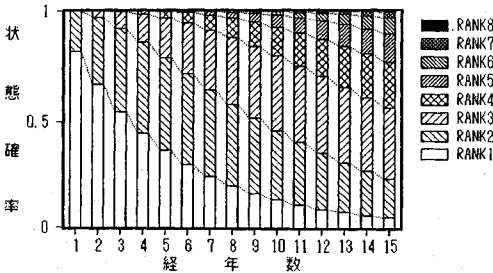


図-6 コンクリート舗装の状態確率の経年変化(C交通の場合)

す。また、この遷移確率マトリックスより求めた供用15年間のランクごとの状態確率を図-6に示す。

また、遷移確率マトリックスから式(4)により求めた供用寿命の期待値を表-8に示す。これによれば供用寿命の期待値は約30年である。

6. む す び

近年、舗装路面の状態を自動測定装置によって調査し、その成果を舗装管理に利用することが試みられている。この場合、測定のハード技術に比較して、これを統計解析する際のソフト技術の開発が遅れていると思われる。舗装は日常的な維持修繕作業を前提とした構造物であり、舗装技術において舗装管理システムに関する技術の確立はきわめて重要である。

本研究においては、既に著者らが開発したマルコフ連鎖モデルによる破損評価システムと、確率密度関数を用いたシミュレーション手法を連動させたアルゴリズムを構築することによって、東北地方におけるアスファルト舗装とコンクリート舗装の供用性に関する解析を事例と

表-8 コンクリート舗装の供用寿命の期待値 (C交通の場合)

5.49	5.98	7.53	5.34	5.50	6.52	6.29	29.84
	5.98	7.53	5.34	5.50	6.52	6.29	24.35
		7.53	5.34	5.50	6.52	6.29	18.37
			5.36	5.50	6.52	6.29	10.86
				5.50	6.52	6.29	5.50
					6.52	6.29	6.29
						6.29	6.29
							6.29

して示した。  
 マルコフ連鎖モデルを用いることにより、回帰分析を用いた手法と比較して、舗装の破損遷移に固有するばらつきを評価することが可能となった。また、比較的データ数の少ないコンクリート舗装に対しても、破損遷移モデルによりデータを補完することにより、マルコフ連鎖モデルの破損遷移確率を求めることができた。  
 その結果、舗装路面の供用性に関する2特性値、すなわちわだち掘れ量とひびわれ率またはひびわれ度の遷移過程と、MCI値を基準にした舗装路面の評価ランクに対する供用寿命の期待値を示すことができた。

謝辞：本研究において、貴重なデータを提供していただきました建設省東北地方建設局東北技術事務所に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 武山 泰・嶋田洋一・福田 正：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-13，1990。
- 2) J.R. Montaña M.・武山 泰・福田 正：コンクリート舗装のひびわれ度遷移のモデル化，土木学会論文集，第426号/V-14，1991。
- 3) Ang, A.H.S. and Tang, W.H.: Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. II Decision, Risk, and Reliability, John Willy & Sons, Inc., pp.207~214, 1984.
- 4) 建設省道路局国道第一課・建設省土木研究所：舗装の維持修繕の計画に関する調査研究，第36回建設技術研究会，1981。
- 5) 日本道路協会：道路維持修繕要綱，1978。

(1991.6.17 受付)

DATA ANALYSIS ON THE TRANSIENT PERFORMANCE OF PAVEMENT DISTRESSES IN COLD REGIONS

Yasushi TAKEYAMA, Seishi UCHIMURA and Tadashi FUKUDA

Transient performance of both asphalt pavements and concrete pavements were evaluated by analysing the data of the condition survey of pavements in Tohoku district. Since the number of the data of concrete pavements were scarce, data were supplemented by the present simulation methods. In this simulation, a double exponential function was applied to the modelling of the cumulative distribution function of the annual increment of cracking and rutting of pavements. Reliability and service life were evaluated by means of the Markov transition probabilities calculated by this simulation.