

寒冷地トンネルにおける覆工劣化の推移について

岩田地崎建設(株) 技術部 ○河村 巧

土木研究所寒地土木研究所 佐藤 京

東北工業大学 須藤敦史 東京都市大学 丸山 収

関西大学 兼清泰明・檀 寛成

1. はじめに

社会インフラの中で橋梁や山岳トンネルなどの道路構造物は、長い耐用年数を必要とするのであり、昨今の社会情勢などから、これらの構造物の長寿命化を早急に図らなければならない¹⁾など。一方、効率的な維持管理・長寿命化を行うためには、個々のトンネルにおける劣化状態の正確な把握とその将来予測が非常に重要となるが、点検データが少なく、劣化推移が求められていないのが現状である。そこで本研究では、個々のトンネル覆工における劣化の時間遷移（マルコフ遷移確率行列）を実際のトンネル点検記録より求めている。

2. マルコフ連鎖（遷移確率行列）

マルコフ連鎖は図-1に示すように、ある状態から次の状態への遷移を $A \Rightarrow A; 1/3, A \Rightarrow B; 1/3, A \Rightarrow C; 1/3$ で表す。ここで寒冷地のトンネル覆工における劣化・損傷の推移を図-2に示すように、一つ前の劣化評価値の状態に依存する（一様マルコフ連鎖）と考える²⁾。したがって、トンネル覆工の劣化過程（供用年数に伴う健全度の変化）は、図-2に示すように点検間隔に応じた離散的評価になる。（本解析ではトンネル点検の旧点検値 $A \Rightarrow B+, 2A \Rightarrow A, 3A \Rightarrow 2A$ を用いている³⁾など。）

加えて、表-1に示すようにトンネル覆工の劣化評価は健全ランク（離散値）の推移として求めている。

一般的にトンネル覆工は、良好な状態の判定区分Sから終局的破損状態の判定区分2Aまでの時間的遷移は図-2に示すように離散的な時間 $t_1, t_2 (= t_1 + \Delta t)$ の現象としている。この遷移確率 p_{ij} は現在からの時間差 Δt のみに依存する。また覆工における劣化の判定区分に対する遷移確率をマトリックス表示すると式(1)となる。

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad 0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad (1)$$

ここで、個々の遷移状態は互いに排反かつすべての状態を表わすことから、式(2)に示すように各行の要素の和は1となる。

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1 \quad (2)$$

このマルコフ遷移確率行列が求められれば、個々のトンネル覆工の劣化推移状態が予測できることとなり、トンネル覆工における保有性能が限界状態以下になる時期の予測が可能となる。

キーワード 寒冷地、覆工劣化、マルコフ過程、トンネル点検

連絡先 〒060-8630 札幌市中央区北2条東17丁目2番地 Tel:03-3436-31783 E-mail: t.kawamura@iwata-gr.co.jp

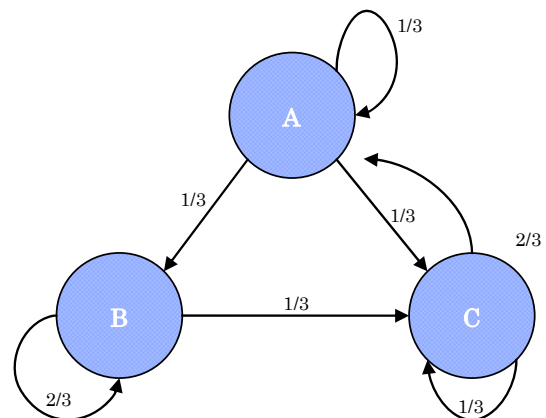


図-1 マルコフ連鎖（遷移確率）の概念

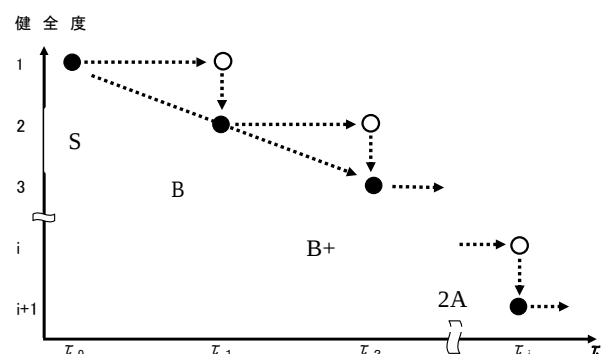


図-2 劣化評価の時間的推移と点検間隔

3. トンネル覆工劣化のマルコフ遷移確率

北海道のトンネル覆工における実際の点検データ（劣化評価値）から、式(3)に示す数上げ法⁴⁾により、トンネル覆工における劣化評価値のマルコフ遷移確率行列を求める。

$$p_{ij} = \frac{X(t_A) = i \text{かつ} X(t_B) = j \text{の個数}}{X(t_A) = i \text{の個数}} \quad (3)$$

$X(t_A) = i$: 時刻 A で点検値より求めた評価値

ここで、マルコフ遷移確率行列の同定（1・2 ランクの遷移のみ）を点検間隔2~3 年（1 単位）で試み、表-1(a),(b)に示す結果が得られた。

次に、得られたマルコフ遷移確率行列より求めた NATM と矢板工法におけるトンネル覆工の劣化予測曲線を図-3(a),(b)に示す。図-3(a),(b)より、観測データを基にした供用年数に伴うトンネル覆工における劣化の進行度が表されている。

これより、トンネル覆工の保有性能が限界状態以下になる時期の予測が可能になり、予防保全を基本としたライフ・サイクル・コストの最適化が図れる。

5. まとめ

本研究では、寒冷地トンネルにおける覆工劣化の時間遷移（マルコフ遷移確率行列）を、実施された点検データにより求め、これにより個々のトンネル覆工における劣化予測が行える結果が得られた。今後、予測精度の向上のためには、多くの点検データの蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 須藤敦史, 佐藤京, 西弘明: 積雪寒冷地トンネルにおける TMS 構築に関する研究, 土木学会 第 21 回トンネル工学研究発表会論文集, pp.203-208, 2011.
- 2) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 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, pp.69-82, 2005.
- 3) 須藤敦史, 近野正彦, 丸山収, 佐藤京, 西弘明: 寒冷地トンネルの覆工における劣化過程の同定と長期予測, 土木学会 論文集 F1 (トンネル工学), Vol.20, pp.61-68, 2010.
- 4) 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, pp.135-141, 1990.8.

表-1(a) マルコフ遷移確率行列 (NATM)

	S	B	B+	A	AA
S	0.84	0.13	0.02	0.01	0.01
B	0.00	0.94	0.06	0.00	0.00
B+	0.00	0.00	0.90	0.09	0.02
A	0.00	0.00	0.00	0.71	0.29
AA	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

表-1(b) マルコフ遷移確率行列 (矢板工法)

	S	B	B+	A	AA
S	0.62	0.38	0	0	0
B	0	0.51	0.49	0	0
B+	0	0	0.69	0.31	0
A	0	0	0	0.67	0.33
AA	0	0	0	0	1

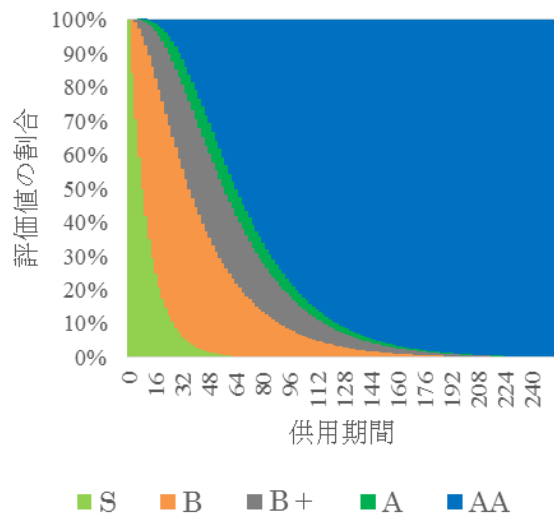


図-3(a) 劣化予測曲線 (NATM)

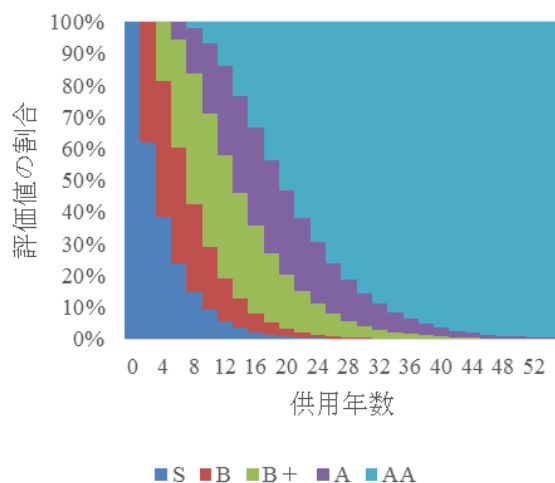


図-3(b) 劣化予測曲線 (矢板工法)