

トンネル覆工の劣化推移（確率）の同定

Identification of Transition Probabilities for Degrading Process for Tunnel lining

東京都市大学工学部 正会員 須藤 敦史 (Atsushi Sutoh)
 (独)土木研究所寒地研究所 正会員 佐藤 京 (Takashi Sato)
 (独)土木研究所寒地研究所 正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

北海道の山岳トンネルでは、ライフサイクルマネジメント(Life Cycle Management : LCM)やアセットマネジメント¹⁾などの構築が急務となってきたが、これらの基礎データとなる現状における劣化度の把握や評価およびその将来予測ができていないのが現状である。

本研究では、トンネルの定期点検より得られた情報を有効に活用することを目的として、覆工コンクリートにおける劣化過程の進展をマルコフ推移確率により推定する方法を提案するとともに、実際の点検データを用いて本手法の妥当性を検証している。

2. マルコフ推移確率²⁾

寒冷地トンネルにおける覆工コンクリートは、建設直後の良好な状態から冬季の風雪など経年劣化（損傷）を徐々に受ける。

ここで覆工コンクリートの劣化過程を、ある状態から他の状態への遷移するものとしてそれ以前の履歴に依存する（一様マルコフ連鎖）モデルと考える³⁾など。

一般的に覆工コンクリートの状態は、良好な状態のランク S から終局的破損状態のランク AA までの数段階のランクでレーティング評価しており、劣化の推移は図-1 に示すように、離散的な時間 $t_1, t_2 (= t_1 + \Delta t)$ の現象と定義されている。ここで時刻 t においてランク i の覆工コンクリートの状態が、時間 $t + \Delta t$ でランク j に移行する遷移確率 p_{ij} は式(1)となる。

$$p_{ij} = \text{prob}[X_{t+\Delta t} = j | X_t = i] \quad (1)$$

ここでトンネル覆工のランク各組に対する遷移確率をマトリックス表示すると式(2)となる。

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

また、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、各行の要素の和は 1 となる。

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1 \quad (3)$$

n 個のマルコフ連鎖の状態確率は式(4)となる。

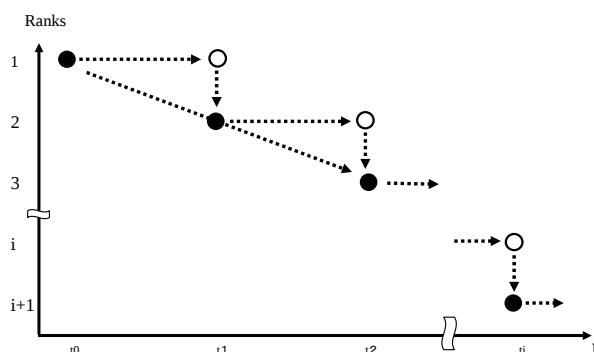


Fig.1 Degrading Process of Markovian Chain Model

$$X(0) = [x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)] \quad (4)$$

$x_i(0)$: 覆工が初期状態においてランク i である確率

同様に $1, 2, \dots, m$ ステップ後における覆工における状態確率 $X(0), X(1), \dots, X(m)$ は以下となる。

$$\begin{aligned} X(1) &= X(0)P \\ X(2) &= X(1)P = X(0)P^2 \\ &\vdots \\ X(m) &= X(m-1)P = \dots = X(0)P^m \end{aligned} \quad (5)$$

これらのマルコフ遷移確率により、トンネル覆工の劣化（損傷）過程の進展を表すことができる。

3. マルコフ推移確率の同定方法

一般的にトンネル覆工の点検は①ひび割れ、②浮き・はく離、③漏水、④目地ずれ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰の 6 項目を実施しており、点検データをその重要性を考慮して点数化し、トンネル覆工の劣化度を求めている。

(1) トンネル覆工の平均劣化

255 箇所のトンネル覆工の点検データから覆工の劣化評価値および平均劣化曲線を示したものを図-2 に示す。ここで◆は点検データから算出した劣化度、□は各期間（10～20 年, 21～30 年, 31～40 年, 41～50 年）における劣化分布の平均値である。図-2 より、寒冷地におけるトンネル覆工は建設年代（経年）に伴い劣化は進行する傾向を示している。また、図-3 に示した評価値は対数正規分布を示しており、経年に伴い広がる傾向である。

(2) トンネル覆工の判定基準 (Ranks)

一般的にトンネル覆工の判定区分は 3 段階となっているが,本研究では A,B の判定では覆工の変状程度が多様であるため,A (補修・補強対策の検討必要),B (重点監視) 判定についてさらに(AA,A),(B+,B)と 2 つに細分化し,加えて第三者被害発生の可能性が高い変状項目に対してそのウエイトにより判定値を考慮している.本評価法における判定区分毎の評価点範囲を表-1 に示す.

4. マルコフ推移過程の導出

トンネル覆工の劣化過程は順次進行(悪化)してゆく特性を示すものとし,図-3 に示したトンネル覆工 255 箇所における評価値の分布(数)から式(6)に示す数上げ法により,マルコフ推移確率行列を求める⁴⁾.

しかし,数上げ法では多くの点検データが必要となるが,本研究では各期間の分布(数)および劣化の平均劣化度⁵⁾より推定(同ランクもしくは 1 ランクの推移のみ)を試みている.

$$p_{ij} = \frac{X(t_A)=iかつX(t_B)=jの個数}{X(t_A)=iの個数} \quad (6)$$

$X(t_A)=i$:時刻 A で点検データより求めた評価値

加えて,トンネル点検間隔は 5 年を標準としているが,点検データが少ないことよりマルコフ推移確率行列は 10 年(1 単位)として算出を試みている.表-2 より,点検データに基づいたマルコフ推移確率行列は任意の時間間隔に対して推定が可能であることが判った.さらにトンネル覆工における点検データの蓄積により劣化過程の推移確率行列の精度向上が図られると考えられる.

5. おわりに

トンネル覆工管理(統計的劣化予測)のためのマルコフ推移確率行列の導出を実際に得られている点検データを基に試み,以下の結論が得られた.

- 1) トンネル覆工の平均劣化度は,建設年代(経過年)に伴い劣化し,加えてその対数正規分布も経年に伴い広がる傾向を示している.
- 2) 実データを基にしたマルコフ推移確率行列の導出は基本的に可能であり,点検データが多くなれば点検間隔が異なるマルコフ推移確率行列の推定も可能である.

今後は寒冷地のトンネル覆工における点検データを充実させ,実用的なトンネルマネジメントシステムにおける劣化評価の構築を行なう予定である.

参考文献

- 1) 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,土論集 F1 (トンネル工学) 特集号 Vol.66,No.1/pp.61-68,2010.11.
- 2) Ang,A.H-S.Tang,W.H.:Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. II -Decision, Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Inc., pp.112-140,1984.

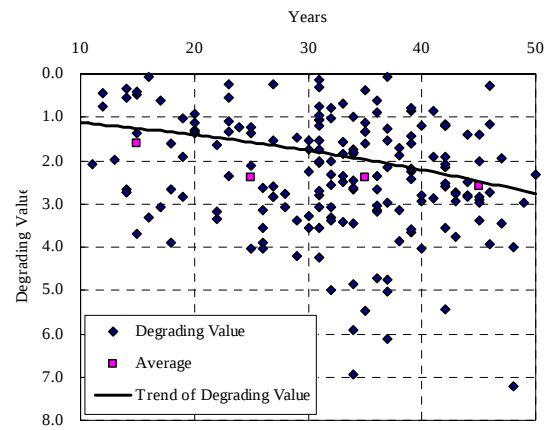


Fig. 2 Degrading Value of Tunnel Lining

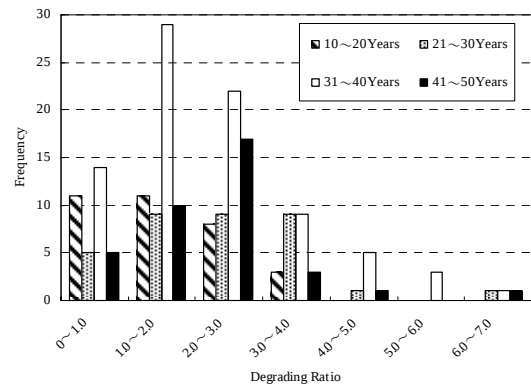


Fig.3 Distribution of Degrading Value

Table 1 Ranks of Tunnel Lining

Ranks (Rating)	Degrading Value
S	< 1.0
B	1.0 - 2.5
B+	2.5 - 4.0
A	4.0 - 6.0
AA	6.0 <

Table 2 Markovian Transition Probability of Tunnel Lining

Ranks	S	B	B+	A	AA
S	0.7	0.3	0	0	0
B	0	0.75	0.2	0.05	0
B+	0	0	0.7	0.2	0.1
A	0	0	0	0.65	0.35
AA	0	0	0	0	1

- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 須藤敦史,佐藤京,西弘明:寒冷地のトンネル覆工における劣化過程のマイクロ同定,土木学会 第64回年次学術講演会,VI-077,2010.