

点検データに基づいた覆工劣化の推移確率同定

○東京都市大学工学部都市工学科 正会員 須藤 敦史
東京都市大学大学院工学研究科学生会員 糸井謙介
(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京
(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明

1. はじめに

北海道の山岳トンネルでは,既存のインフラを維持管理しながら,効率的かつ経済的なメンテナンス・ライフサイクルマネジメント(Life Cycle Management: LCM, 図.1 参照)やアセットマネジメントが必要となってきたが,これらに必須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ないのが現状である。

そこで本研究では,トンネル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,トンネル覆工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¹⁾

寒冷地のトンネル覆工は,建設直後の良好な状態から気象などの経年劣化(損傷)を徐々に受ける。ここでは覆工の劣化過程を,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²⁾など。

一般的にトンネル覆工の状態は,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。

ここで時刻 t においてランク i の覆工状態が,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。

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

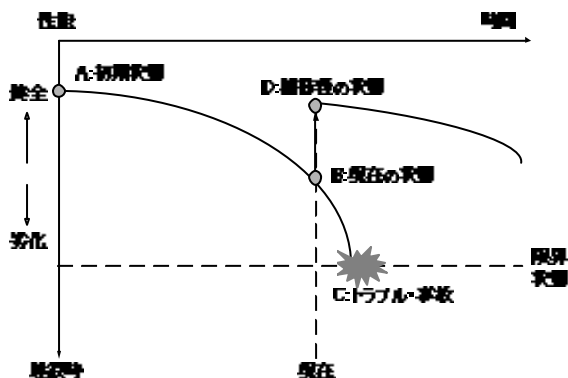


図.1 トンネル・マネジメントの概念図

この遷移確率が現在の状態のみに依存するならば p_{ij} は時間差 Δt にのみ依存する。ここで覆工のランク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)で表わされる。

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

$x_i(0)$: 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, 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。

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

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

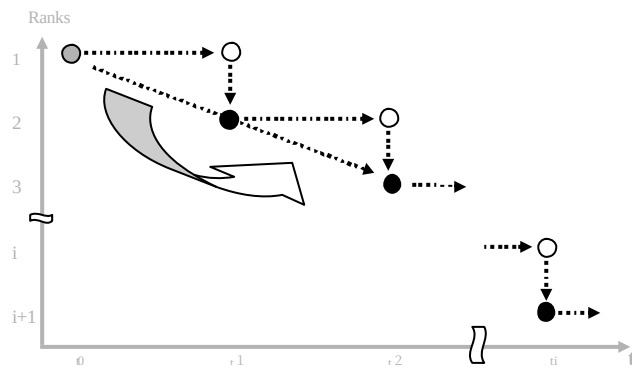


図.2 マルコフの推移確率における(性能)劣化モデル

キーワード: アセットマネジメント, トンネル覆工, マルコフ推移確率, 劣化同定

連絡先 (〒105-8488 東京都港区西新橋 3-23-5 TEL03-3436-3176 FAX03-3438-4486 E-mail a.sudou@iwata-gr.co.jp)

これらのマルコフ推移確率により,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,ここでは得られた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(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り図-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ェ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³⁾により,マルコフ推移確率行列を求める。本研究では各期間の分布(数)および平均劣化度より推定(同ランクもしくは1ランクの推移のみ)を試みている。

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

$X(t_A) = i$:時刻Aで点検データより求めた評価値

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。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。

5. おわりに

- 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。

【参考文献】

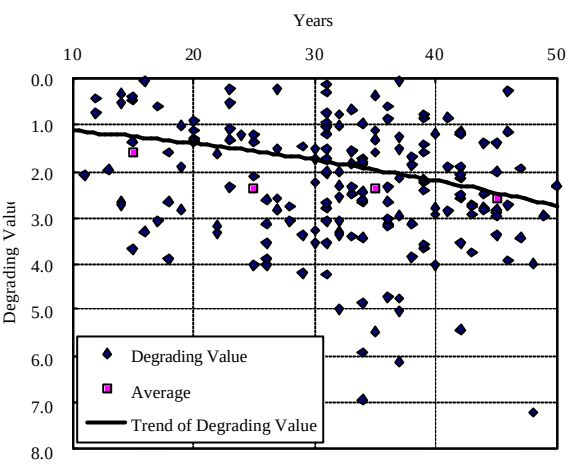


図.3 トンネル覆工の劣化評価値

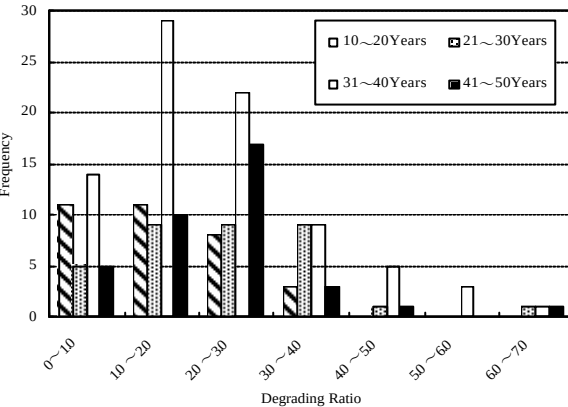


図.4 トンネル覆工における劣化評価の分布

表.1 トンネル覆工の劣化評価値 (Ranks)

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 <

表.2 覆工劣化のマルコフ推移確率

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

1) 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.

2) 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.

3) 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.