

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に整備されてきた社会インフラの高齢化が進んでいる。北海道では建設から30年以上経過した国道のトンネル数が40%以上となってきているため、今後は寒冷地特有の劣化要因を考慮したライフ・サイクル・コストの低減化が図れるような補修・維持管理計画が急務となっている¹⁾。

そこで本研究では、北海道開発局が管理する矢板工法の国道トンネルを対象として、離散的なトンネル覆工の劣化評価値において統計的な劣化（マルコフ連鎖）モデルの時間遷移（マルコフ遷移確率行列）を実際のトンネル点検データにより算出している。

表-1 トンネルの判定区分²⁾に加筆

判定区分	判定要素				対策の緊急度
	通行者、車両の安全走行に及ぼす影響	構造物としての安全性に及ぼす影響	維持管理作業量に及ぼす影響	変状の程度	
3A	危険	重大	著しい	重大	直ちに対策
2A	早晚脅かす異常時に危険	早晚重大となる	大きい	進行中、機能低下も進行	早急に対策
A	将来危険となる	将来重大となる	中程度	進行中、機能低下のおそれ	重点的に監視、計画的に対策
B	現状では影響がない	同左	ほとんどない	軽微	監視継続
S	なし				

2. マルコフ連鎖モデル

トンネル覆工における劣化過程としてのマルコフ連鎖は、図-1に示すように構造物の供用年数に伴う健全度は点検間隔に応じた離散データになる。加えて、表-1に示すように北海道においてもトンネル覆工の劣化評価は健全の判定区分²⁾（離散値）を求めている（解析では $A \Rightarrow B+, 2A \Rightarrow A, 3A \Rightarrow 2A$ ）。

ここで、ある状態から次の状態への遷移は、一つ前の性能照査区分の状態に依存する（一様マルコフ連鎖）モデルと考える³⁾。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まで評価値で表し、その時間的遷移は図-1に示すように離散的な時間 $t_1, t_2 (= t_1 + \Delta t)$ の現象と考える。

ここで時刻 t において劣化の判定区分 i の覆工状態が、時刻 $t + \Delta t$ で判定区分 j に移行する遷移確率 p_{ij} は式(1)となる。

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

この遷移確率 p_{ij} は現在からの時間差 Δt にのみに依存する。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(2)となる。

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

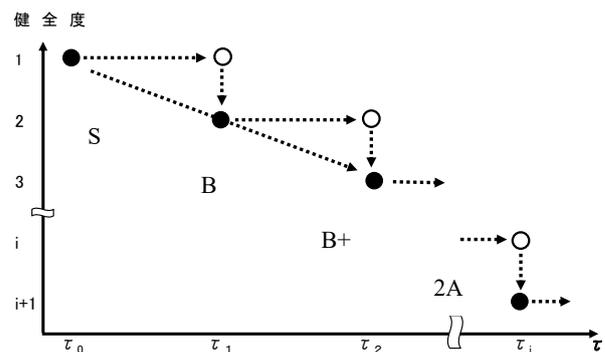


図-1 健全ランクの時間的推移と点検間隔

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、各行の要素の和は1となる。

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

これらのマルコフ遷移確率行列が求められれば、トンネル覆工の劣化推移の将来予測できることとなり、

キーワード：トンネル点検値, 劣化推移, マルコフ過程, 矢板工法

寒冷地のトンネル覆工において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ことで、予防保全を基本としたトンネルの維持管理が図られる。

3. マルコフ遷移確率の算定

矢板工法におけるトンネル覆工点検データの劣化評価値から式(4)に示す数上げ法⁴⁾により、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。

$$p_{ij} = \frac{X(t_A)=iかつX(t_B)=jの個数}{X(t_A)=iの個数} \quad (4)$$

$X(t_A)=i$: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算定（同判定区分もしくは1判定区分の推移のみ）を2~3年（1単位）で試み、表-2 に示す結果が得られた。

ここで表-2 より、矢板工法で施工された G トンネルの覆工において判定区分 S の状態が2年後に判定区分 B に遷移する確率は38%、判定区分 S のままの確率は62%である。また判定区分 B の状態が2年後に判定区分 A に遷移する確率は49%、判定区分 B のままの確率は51%である。

次に、得られたマルコフ遷移確率行列より求めた矢板工法におけるトンネル覆工の劣化予測曲線を図-3 に示す。図-3 より、供用年数に比例したトンネル

覆工の劣化進行度が表されている。ここで判定区分 2A は破壊状態を示しており、何らかの不具合が発生する状態である。また経過年数 60 年は、矢板工法のトンネルが無くなり約 40 年経過しているため、今後の耐用年数を考慮した供用期間を採用している。北海道において矢板工法の道路トンネル覆工において劣化評価値の推移からマルコフ推移確率行列が求められ、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る。これより予防保全を基本とした維持管理およびライフ・サイクル・コストの最適化が図れる。

4. 結 論

本研究では、北海道開発局が管理する矢板工法のトンネルを対象として、トンネル覆工の劣化評価値において時間遷移（マルコフ遷移確率行列）を実際の点検データにより求めた。今後はマルコフ推移確率行列の正確さを上げるために、数多くのトンネル覆工における点検データの蓄積が必要である。

参考文献

- 1) 岡田正之, 三上隆, 川村浩, 須藤敦史, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおけるライフサイクルマネジメントの基礎考察, 土木学会第 59 回年次学術講演会IV-397, pp.791-792,2004.
- 2) 国土交通省道路局国道課: 道路トンネル定期点検要領(案), 国土交通省道路局国道課, 平成14年4月.
- 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.801I-73, pp.69-82, 2005.
- 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-2 覆工劣化のマルコフ遷移確率行列
(G トンネル)

判定区分	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

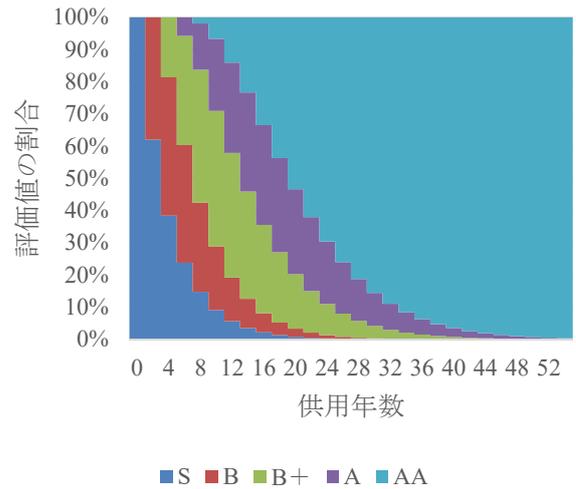


図-3 マルコフ遷移確率から求めた劣化予測曲線