

1. はじめに

山岳トンネルは、長い耐用年数を有するきわめて寿命の長い構造物であるため、トンネルの長寿命化を図ってゆくには設計時において供用期間に生じるさまざまなリスクを考慮しながら、同時に効率的な維持管理が必要である¹⁾。そこで本研究では、北海道開発局が管理する国道のNATM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を行っている。

2. マルコフ連鎖モデル

マルコフ連鎖は、ある状態から次の状態への遷移は（ $A \Rightarrow A:1/3, A \Rightarrow B:1/3, A \Rightarrow C:1/3$, 図-1）という確率で移動する。ここで、この移動を一つ前の劣化評価値性の状態に依存する（一様マルコフ連鎖）と考える²⁾。

トンネル覆工における劣化過程（供用年数に伴う健全度の変化）は、図-2に示すには点検間隔に応じた離散的評価になる。（解析では $A \Rightarrow B+, 2A \Rightarrow A, 3A \Rightarrow 2A$ ）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³⁾（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 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(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、各行の要素の和は1となる。

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

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予測ができることとなり、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ことで、予防保全を基本とした最
キーワード：トンネル点検値,劣化推移,マルコフ過程,NATM

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				

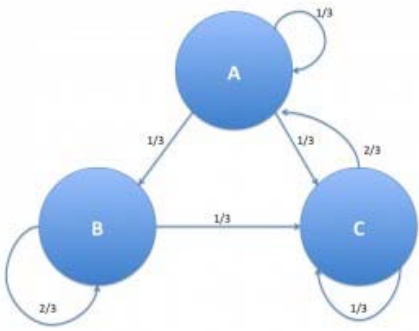


図-1 マルコフ推移過程のモデル

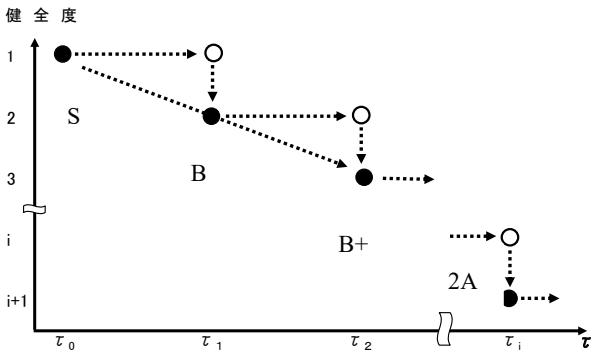


図-2 判定区分の時間的推移と点検間隔

適な維持管理が図られる。

3. マルコフ遷移確率の算定

NATM 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(4)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推定（同判定区分もしくは1ランクの推移のみ）は点検間隔に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、NATMで施工されたKT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0.13、判定区分Sのままの確率は0.84である。また判定区分Bの状態が2年後に判定区分B+に遷移する確率は0.06、判定区分Bのままの確率は0.94である。

次に、得られたマルコフ遷移確率行列より求めたトンネル覆工における劣化予測曲線を図-3に示す。

ここで判定区分2Aは破壊状態を示しており、通常管理状態と関係なく何らかの不具合が発生する状態である。また解析年数100年はユーロコードによるトンネルの供用期間（耐用年数）を採用している。

これにより、北海道におけるNATM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（時間推移）をも求められる。したがって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とで、トンネル覆工の予防保全を基本とした維持管理およびライフ・サイクル・コストの最適化が実現される。

4. 結 果

本研究では、北海道開発局が管理するNATM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推移（マルコフ遷移確率行列）を実際の点検データにより求め、これによりトンネル覆工の劣化予測が行える結果が得られた。今後は推移確率行列の正確さを上げるために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) 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 覆工劣化におけるマルコフ遷移確率行列

(KTトンネル)

	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

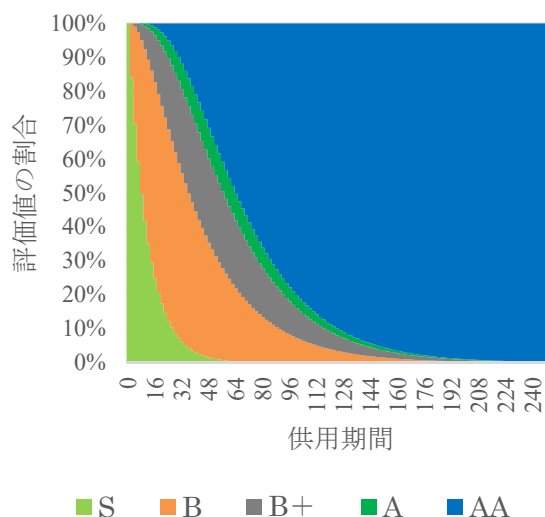


図-3 マルコフ遷移確率から求めた劣化予測曲線