

マルコフ過程による寒冷地トンネル覆工の劣化予測

（株）建設技術研究所 ○禿 和英
東北工業大学 須藤 敦史
土木研究所寒地土木研究所 佐藤 京
関西大学 兼清 泰明・檀 寛成
東京都市大学 丸山 収

1. はじめに

北海道においても、老朽化したトンネル数が顕著に急増していく。そのため、定期点検などによる正確な現状把握、事後保全ではなく予防保全が必要になってくる¹⁾。
そこで本研究では、北海道開発局が管理する山岳トンネルを対象として、統計的（マルコフ連鎖²⁾）モデルによりトンネル覆工における劣化推移（マルコフ遷移確率行列）を離散的なトンネル覆工の劣化評価値により算出している。

2. マルコフ連鎖モデル

マルコフ連鎖は、ある状態からつぎの状態への遷移は、ひとつ前の劣化評価の区分の状態に依存する（一様マルコフ連鎖）と考える。ここで図-1に示すように、あるCの状態がCに依存する確率は1/5、CがGに変化する確率は2/5、CがFに変化する確率は2/5になる。

一般的にトンネル覆工の劣化評価値は、表-1に示すように安全な状態のⅠから終局破壊状態のⅣまでの5段階の判定で評価している³⁾。また時間的遷移は、離散的な時間 $t_1, t_2(t_1 + \Delta t)$ 現象としている。

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

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。

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

以上のマルコフ遷移確率行列が実測値から求められればトンネル覆工の劣化傾向の予測ができて、トンネル覆工が限界状態になる前に最適な補修・維持管理を施すことができ、予防保全に繋がられる。

2. マルコフ遷移確率行列の算定

キーワード：トンネル点検、覆工コンクリート、劣化評価値、劣化予測
連絡先 〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1 Tel: 03-3668-0451 E-mail : kamuro@ctie.co.jp

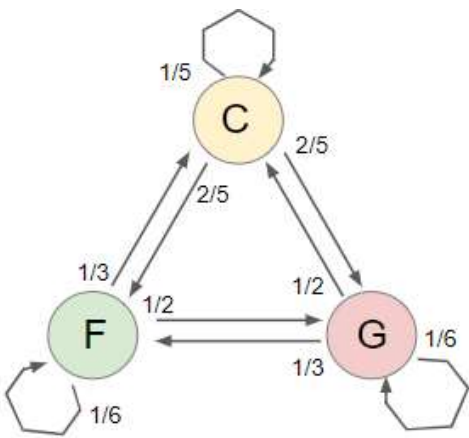


図-1 マルコフ連鎖の概念図

表-1 トンネル覆工の健全度判定区分

区分	定義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態
II	IIb 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態
	IIa 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から対策を必要とする状態
III	早晚利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態

判定区分にⅣにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通開放できない状態までを言う

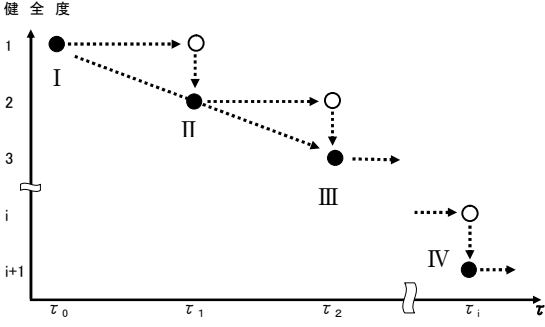


図-2 判定区分の時間的遷移と点検間隔

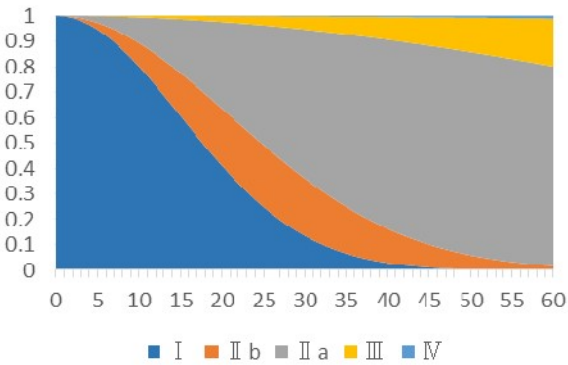


図-3 トンネル覆工の劣化予測曲線（NATM）

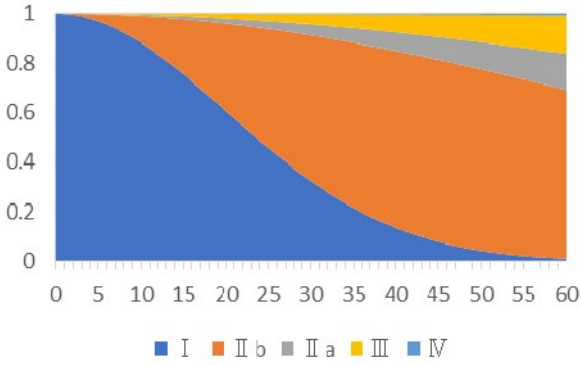


図-4 トンネル覆工の劣化予測曲線（矢板工法）

北海道におけるトンネル覆工の定期点検値から,式(3)に示す数上げ法²⁾によりマルコフ遷移確率行列を求める.

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

$X(t_A) = i$:時刻 A で点検データより求めた評価値
マルコフ遷移確率行列を供用年数ごとの定期点検値より算定し,表-2,3 に示す結果が得られた.

3. トンネル覆工の劣化予測曲線

次に,マルコフ遷移確率行列から求められたNATM,在来工法におけるトンネル覆工の劣化予測曲線を図-3,4に示す.
ここでNATMでは比較的新しい工法であるため,評価良いIが多く割合を占めているが,供用後20年が経過すると,Iの評価の割合が50%になり,IIb,IIaの割合が徐々に増えることが分かる.また,矢板工法では,供用後50年が経過するとIの評価の割合がほぼ無くなり,IIIの評価の割合の増え方が多くなる.

4. 結果

本研究では,厳しい気象条件である北海道のNATM・在来工法のトンネルにおいて,トンネル覆工における劣化特性を定期点検値からマルコフ遷移確率行列を用いて,劣化評価値の推定を行った.今後の課題として,さらなる精度向上のため,定期的な点検データの蓄積が必要である.

参考文献

1) 佐藤京,須藤敦史,西弘明:積雪寒冷地トンネルにおけるマネジメントシステム構築に関する研究,pp.1, 2011.
2) 須藤敦史,佐藤京,西弘明:性能規定に基づく寒冷地トンネル覆工の劣化予測のためのマルコフ遷移確率行列の同定,土木学会論文集,Vol.68,pp.95,97,2012.
3) 道路トンネル点検要領.国土交通省道路局国道・技術課,平成 31 年 3 月,pp,19

表-2.1 NATM（経過年数 0～14 年）

	I	II b	II a	III
I	0.934	0.052	0.014	0.000
II b	0.020	0.940	0.039	0.002
II a	0.033	0.024	0.936	0.008
III	0.048	0.690	0.000	0.262

表-2.2 NATM（経過年数 15～29 年）

	I	IIb	IIa	III
I	0.847	0.103	0.040	0.010
IIb	0.066	0.849	0.074	0.011
IIa	0.029	0.098	0.832	0.041
III	0.012	0.047	0.395	0.547

表-3.1 矢板工法（経過年数 20～39 年）

	I	IIb	IIa	III
I	0.591	0.324	0.085	0.000
IIb	0.018	0.777	0.195	0.010
IIa	0.008	0.040	0.929	0.024
III	0.005	0.080	0.053	0.862

表-3.2 矢板工法（経過年数 40～59 年）

	I	IIb	IIa	III
I	0.518	0.295	0.171	0.016
IIb	0.014	0.768	0.195	0.023
IIa	0.009	0.034	0.876	0.081
III	0.006	0.039	0.051	0.803