

トンネル覆工における劣化過程のミクロ予測

A Prediction for Degrading Process of Tunnel Lining Concrete

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)
 東京都市大学大学院 学生会員 近野 正彦 (Masahiko Konno)

1. はじめに

北海道では昭和30年代後半から道路整備に伴う山岳トンネルの建設が進んでいるが、今後は効率的かつ経済的なメンテナンス・維持管理が求められるようになる。

そこで計画的な維持管理を行うライフサイクルマネジメント(Life Cycle Management: LCM)や社会資本を資産と見なすストックやアセットマネジメントの検討¹⁾などが行われているが、これらでは覆工における要求性能の設定ならびに現状の劣化度の把握、また将来的な劣化予測が重要であるが予測できないのが現状である。

そこで本研究では、①トンネル個々の劣化推移の同定、②トンネル覆工の特定箇所における劣化推移の同定を実際に北海道内のトンネルで実施された点検データから試みている。

2. トンネル覆工における劣化過程²⁾

トンネルマネジメントシステム(Tunnel Management System)では、トンネル覆工における劣化推移と将来予測は、1)トンネル群の平均的な劣化を対象とする場合、2)個別トンネルにおける具体的な損傷劣化を対象とする場合がある。

1)は膨大な点検データなどから劣化過程を確率・統計的にモデル化する手法であり、2)は劣化のメカニズムを解明して劣化過程をモデル化する手法が用いられている。

一方、トンネル覆工の維持管理では、劣化度(健全度)を多段階のレーティング(離散値)で評価した目視検査データで取り扱う場合がほとんどであり、劣化予測手法は図-1に分類される。集計的手法は、トンネル覆工の点検データを集計するマクロ的な劣化予測であり、一方非集計的手法は、ミクロ的な劣化予測である。

3. トンネル覆工におけるミクロ的な劣化過程

一般にトンネル覆工における劣化度損の確率的モデルは、1)マルコフ過程(マルコフ連鎖モデル)、2)ポアソン過程、3)幾何学的ブラウン運動モデルが挙げられる。

マルコフ連鎖ではトンネル覆工は、良好な状態ランク1から破損状態ランク n までのレーティング評

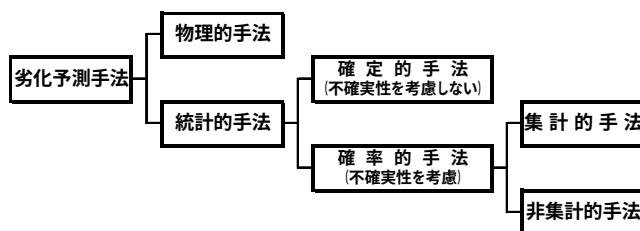


図-1 トンネル覆工の劣化予測手法

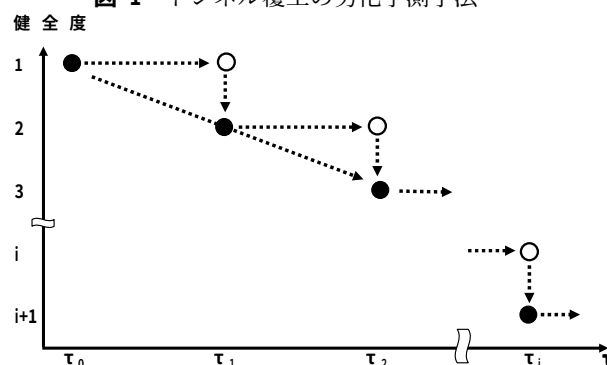


図-2 劣化過程の評価(レーティング)値

価される。

ここで劣化度が現在状態のみに影響を受けるならば、 p_{ij} は時間差 Δt にのみ依存する。トンネル覆工の状態ランクに対する遷移確率(マトリックス)は次式となる。

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

n 個の状態のマルコフ連鎖において、初期状態は式(2)で与えられる状態確率(行ベクトル)である。

$$X(0) = [x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)] \quad (2)$$

$x_i(0)$: 覆工の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状態確率
 $X(0), X(1), \dots, X(m)$ は以下となる。

$$X(1) = X(0)P$$

$$X(2) = X(1)P = X(0)P^2 \quad (3)$$

⋮

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

トンネル覆工における劣化挙動の変化をマルコフ遷移確率で表現することができる。

4. 点検データを用いたミクロ劣化の同定

北海道内のトンネルにおいて得られた在来トンネル覆工の点検データから、ミクロな劣化度モデルを同定する。

1) 在来トンネルの劣化推移の同定

在来トンネルの劣化推移をトンネルの点検データ（複数回）より求めたものを図-3(a),(b)、表-1 に示す。在来トンネルにおける経年劣化の時間推移は経過年数に伴って増加（劣化）する傾向を示し、平均的な劣化率は 0.452/Year（10～30 年）、1.512/Year（31 年～）を示した。

2) 特定箇所における劣化評価値の時間推移の同定

トンネル覆工のライフサイクルコスト:LCC に必要不可欠なマルコフ過程に必要な確率推移行列および実際の維持管理におけるトンネル覆工表面の経年劣化の詳細な状況を把握するためのトンネル点検データシステムを構築する（図-4 参照）。

5. ま と め

寒冷地のトンネル覆工における経過年数と劣化度の定量的な関係は、在来トンネルにおける経年劣化の時間推移は経過年数に伴って増加（劣化）する傾向を示し、平均的な劣化率は 0.452/Year（10～30 年）、1.512/Year（31 年～）を示すことが判明した。

したがって、実際に実施された点検データから、トンネル覆工のマルコフ連鎖モデル（推移確率）が求められる。

【参考文献】

- 1) 中村一樹,竹内明男,山田正:トンネルマネジメントシステムの構築,土木学会,建設マネジメント研究論文集Vol.11,2004.12.
- 2) 須藤敦史,三上隆,佐藤京,西弘明,河村巧:寒冷地トンネルの覆工点検データによる覆工の劣化過程の同定,第 62 回年次学術講演会講演概要集,2007.
- 3) 森村英典,高橋幸雄:マルコフ解析,日科技連,1995.
- 4) Ang, A.H-S. and Tang, W.H.: Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. II-Decision, Risk, and Reliability, John Wiley & Sons, Inc., pp.112-140,1984.

表-1 在来トンネル覆工の経年劣化率

在 来	10～30年	31年～
劣化率 (/Year)	0.452	1.512

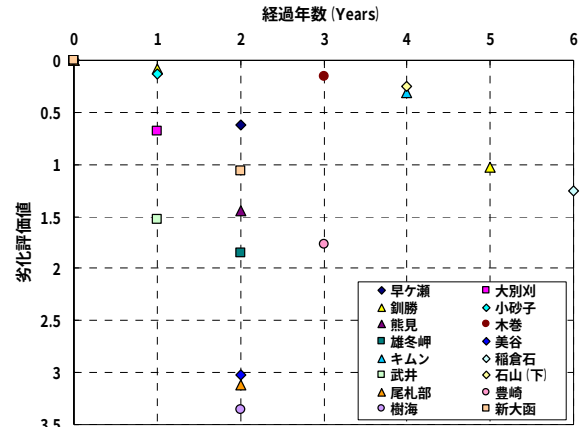


図-3(a) 在来トンネルの経年劣化 (1)

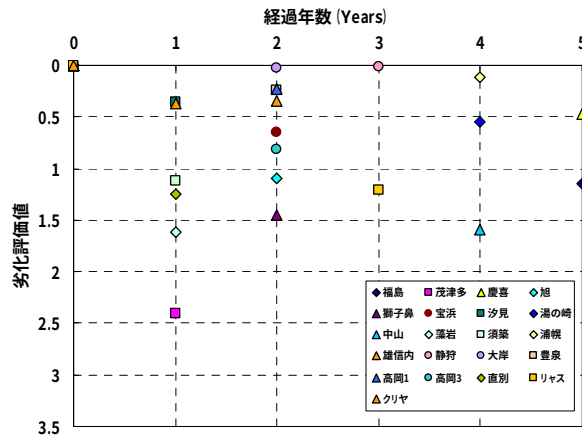


図-3(b) 在来トンネルの経年劣化 (2)

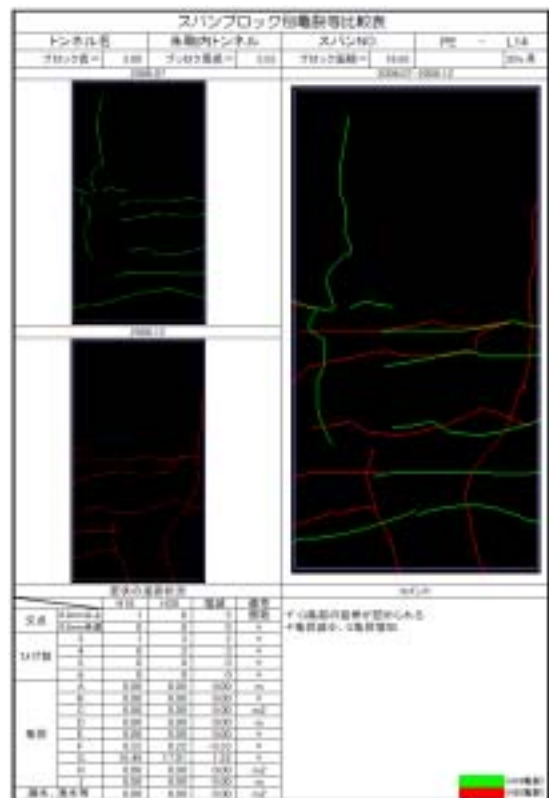


図-4 トンネル覆工の経年劣化（ひび割れ）