

寒冷地のトンネル覆工における劣化過程のマクロ同定

東京都市大学工学部都市工学科 正会員 須藤 敦史
 (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、経済的状況より社会資本への投資は望めず、今後は効率的かつ経済的なメンテナンス・維持管理が必要になる。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、トンネル覆工の劣化状態の把握、また劣化過程の予測が重要であるが、これらの実データを用いた研究がなされていない。

そこで本研究では、寒冷地トンネルの覆工に対する劣化過程における時間推移の予測を北海道内 255 カ所で行わ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⁾

一般にトンネル覆工の劣化過程は図-1 に示すように経過年数 t_i と劣化度(性能関数) $Q(t_i)$ との関係として表され、経過年数 t_i における劣化度の分布は $P(t_i)$ となる。

トンネル覆工の劣化過程は健全度低下傾向の不確実性を考慮して幾何学的ブラウン運動を適用すると次式となる。

$$dX(t) = \mathbf{b}X(t)dt + \mathbf{s}X(t)dW_1(t) \quad (1)$$

ここで \mathbf{b} は平均劣化率(トレンド)、 \mathbf{s} は分散の程度を表すパラメータ(ボラティリティ)である。 $W_1(t)$ はウィナ

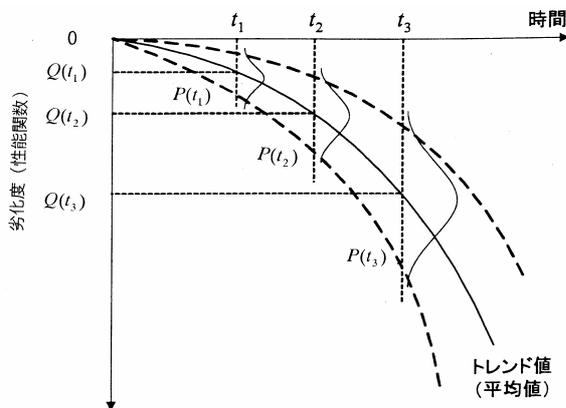


図-1 トンネル覆工の(性能)劣化モデル

一過程であり、 $W_1(t)$ は連続で $W_1(0) = 0$ 、 $W_1(t)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従う。増分 $W_1(s+t) - W_1(s)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従い時刻 s までの $W_1(t)$ の履歴とは独立(マルコフ過程³⁾)という3つの性質を満足する。

3. 点検データを用いた劣化過程のマクロ同定

実際の点検データは図-2に示すように、維持管理のために過去何回か補修・補強が成されている場合が多い。

そこでトンネル覆工の補修・補強が時刻 t_i^* に実施されて劣化度 X_1^* に改善された場合に、直前の劣化度(臨界劣化度)を X_2^* とすれば、トンネル覆工の幾何学的ブラウン運動(伊藤型確率微分方程式)は次式となる⁴⁾。

$$dX(t) = \mathbf{b}X(t)dt + \mathbf{s}X(t)dW_1(t) + \sum_{i>1} \{X_1^* - X_2^*\}l(t - t_i^*) \quad (2)$$

ここで l はディラックの測度であり、 $t = t_i^*$ の時のみ確率測度1を与え、それ以外の時は確率測度0を与える。

この確率微分方程式に「伊藤の公理」を適用すれば劣化過程と確率分布のその時間的推移を求められる。

$$X(0) = X_0 \quad (3a) \quad , \quad X_2^* = X_1^*(t = t_1^*) \quad (3b)$$

$$X(t) = X(t_i^*) \exp\left\{ \left[\mathbf{b} - \frac{1}{2}\mathbf{s}^2 \right] (t - t_i^*) - \mathbf{s}(W_1(t) - W_1(t_i^*)) \right\}$$

$$t_i^* < t < t_{i-1}^* \quad (4)$$

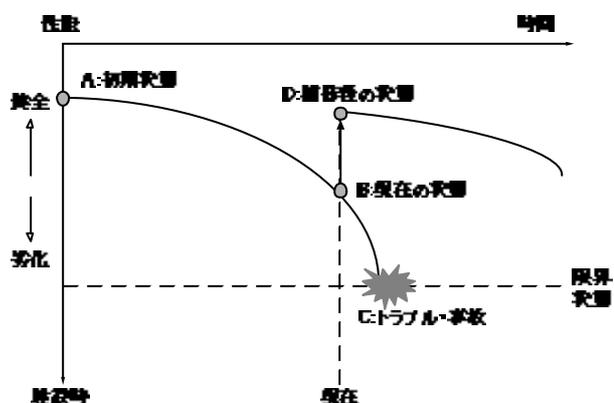


図-2 トンネル覆工の補修・補強の概念図

キーワード: 寒冷地トンネル, アセットマネジメント, トンネル覆工劣化曲線, 確率過程

連絡先 (〒105-8488 東京都港区新橋 5-11-3 TEL03-3436-3176 FAX03-3438-4486 E-mail a.sudou@iwata-gr.co.jp)

一般に山岳トンネルの点検は ひび割れ, 浮き・はく離, 漏水, 目地ずれ・開き, 豆板・空洞, 遊離石灰の6項目を実施する, ここでは得られた全点検データから劣化度を求めている.

(1) 劣化過程(幾何学的ブラウン運動)のマクロ同定

在来・NATM 工法で施工されたトンネル(255 箇所)の覆工における劣化度の時間的な推移過程を同定したものを図-3(a), (b)に示す. 加えて, トンネル台帳を基に補修・補強によるトンネル覆工の劣化度の補正を実施したものを示す.

図-3(a), (b)より, 在来・NATM トンネルの建設年代(経年)に伴い覆工の劣化度は低下(評価値は上昇)傾向を示しており, また NATM トンネルは在来トンネルより建設年代が若いため, 劣化度が在来トンネルほどは進行していない. 加えてトンネル覆工の補修・補強による劣化度の補正をすることでトンネル覆工の真の劣化度を算出することができる.

(2) トンネル覆工における劣化過程の分布

次に, 観測データの経過年数ごとの劣化度の分布状況をと図-4に示す. 図-4より, 幾何学的ブラウン運動(確率微分)の劣化度は経過年数が増加するにつれて劣化分布の平均 or 中央値が後ろに推移していき, かつ状態の分布(変動)幅が大きくなっていることが確認できる. 加えて劣化度に分布も対数正規分布になっている.

4. ま と め

寒冷地のトンネル覆工における劣化度の経過年数との関係を同定することを目的として考察した結果, 以下に示す結論が得られた.

- 1) トンネル覆工の劣化度は, 建設年代(経過経年)に伴い増加していく傾向を示し, 加えて補修・補強による劣化度の補正をすることでトンネル覆工の真の劣化度を算出することができる.
- 2) 幾何学的ブラウン運動方程式の劣化度は経過年数が増加するにつれて劣化分布の平均 or 中央値が後ろに推移していき, かつ状態の分布幅が大きくなっていることが確認できる. 加えて劣化度に分布も対数正規分布になっている.

【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) 田村謙介, 小林潔司: 不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.18(1)pp.97-107, 2001.

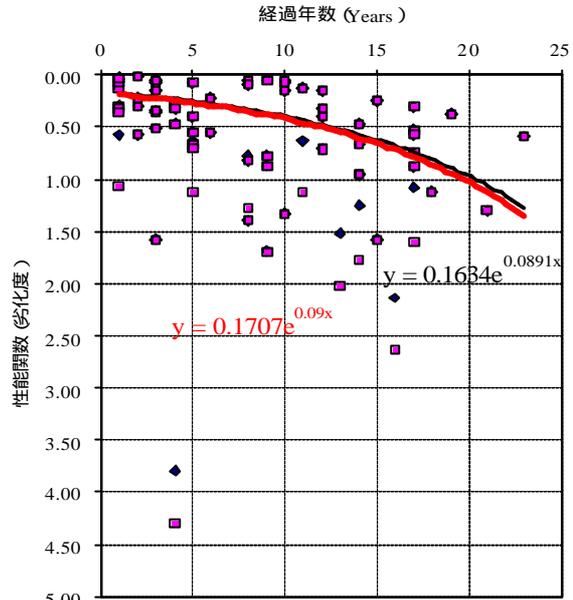


図-3(a) NATM トンネル覆工の劣化度(~25年)

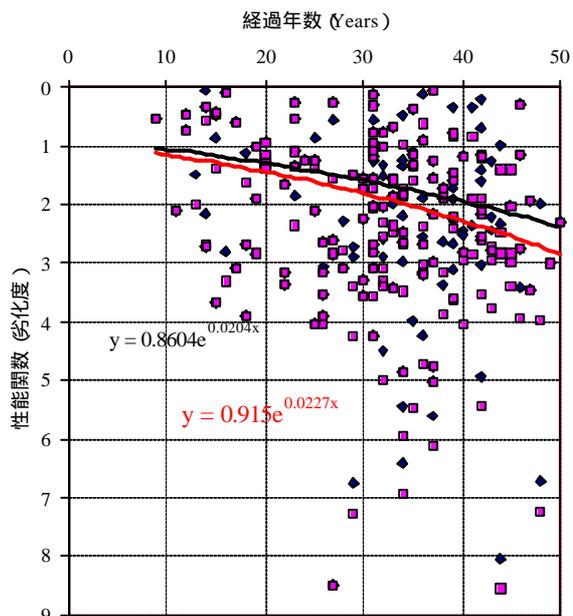


図-3(b) 在来トンネル覆工の劣化度(~50年)

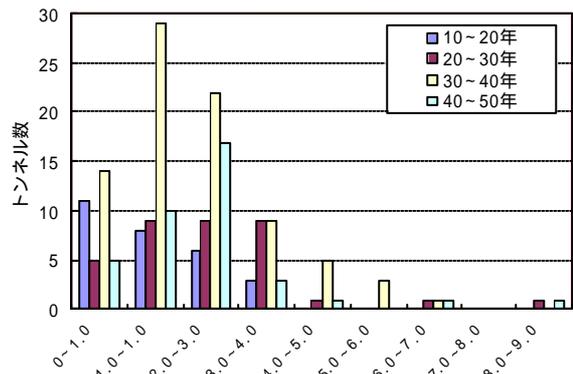


図-4 在来トンネル覆工の劣化分布