

トンネル覆工における劣化過程の予測（確率）モデル

A Stochastic Model for Degrading Process of Tunnel Lining Concrete

○武蔵工業大学大学院 学生会員 夏目 俊幸 (Toshiyuki Natume)
武蔵工業大学工学部 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)

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ージメント(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一方、性能水準の推移(劣化)過程が定量化されていないのが現状である。

本研究は、トンネル覆工における劣化過程の時間推移を伊藤型確率微分方程式にモデル化して予測および現状評価を北海道内 68 カ所で実施されたトンネル覆工の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

一般にトンネル覆工の劣化過程(性能推移)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る²⁾。

ここでトンネル覆工の健全度低下は、各スパンや全体の健全度低下傾向の不確実性を考慮して、経過年数 t_i における劣化度の分布は $P(t_i)$ となり、確率的パスで表現することができる。

表-1 ひび割れパターンの分類

種別	ひび割れ幅の条件	ひび割れパターン
A	0.3mm以上	短いひび割れ散布
B	0.3mm以上	長いひび割れ(クロスあり)
C	0.3mm以上	大きな三角・四角形
D	0.3mm以上	特定部分が密(クロスあり)
E	すべてのひび割れ	その他平凡
F	0.3mm未満	短いひび割れ散布
G	0.3mm未満	長いひび割れ(クロスあり)
H	0.3mm未満	大きな三角・四角形
I	0.3mm未満	特定部分が密(クロスあり)

表-2 ひび割れの交点補正

交点の種類	補正值
0.3mm未満同士	0.003
0.3mm以上関連	0.1

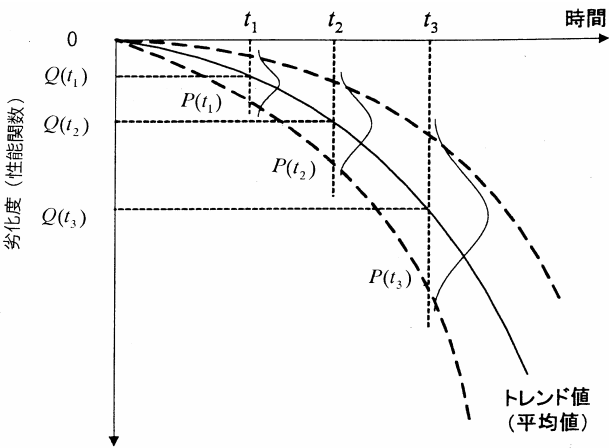


図-1 トンネル覆工の(性能)劣化モデル

トンネル覆工における劣化過程の数理モデルは、各スパンや全体の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(伊藤型確率微分方程式)モデルを適用すると次式で表される。

$$dX(t) = bX(t)dt + sX(t)dW_1(t)$$
 (1)

ここで b は平均劣化率(トレンドもしくはドリフト)、 s は拡散(ボラティリティ)の程度を表すパラメータである。

また $W_1(t)$ はウィナー過程であり、① $W_1(t)$ は連続で $W_1(0) = 0$ 、② $W_1(t)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従う。③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 $W_1(t)$ の履歴と独立である(マルコフ過程³⁾)という3つの性質を満足するとする。

ここで得られている複数のトンネル覆工における点検データに基づいて幾何学的ブラウン運動(伊藤型確率微分)方程式のパラメータを統計的手法により同定する⁴⁾。

3. 劣化度の評価指標

ひび割れの評価値は、幅 0.3mm 以上と 0.3mm 未満、それぞれの延長、ひびわれ同士の交点数(0.3mm 以上と 0.3mm 未満の場合とを区別)とし、加えてひび割れのパターンを表-1のように場合分けして定量化を試みている。なおひび

割れの交点は 0.3mm 未満同士については剥落など第三者被害の危険度はそれほど高くないと考えられるため 0.3 表-2 に示す交点補正を設定した。

次に、トンネル年代と劣化度の関係を求めるには覆工における劣化度の平均値を算出しなければならない。そこで覆工における劣化度の平均値は以下と設定して、0 点を健全として評価点数が大きいほど劣化が進行している。
 評価値 = (区間比 × 補正係数) + (交点数 × 交点補正)

補正係数 = $\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3$

α_1 : 変状種類別の係数(重み),

ひび割れ長さ × ひび割れパターン α_2

α_3 : 発生原因・位置・状態による係数

打音 α_3 : 打音検査による係数

ここで α_2 では材料の劣化が認められた場合: 1.5, 打音 α_3 では、清音・反発は 1.0 に固定している。

4. 点検データによる覆工の経年劣化同定

北海道内(小樽地区)のトンネルで実施された点検データからひび割れを評価指標として覆工の経年劣化の同定を実施した結果を図-2 に示す。

(1) 在来トンネルにおける覆工の経年劣化

幾何学的ブラウン運動(伊藤型確率微分方程式)モデルで定義した劣化過程のトレンドもしくはドリフト項と拡散(ボラティリティ)項を在来トンネルにおける点検データより同定し、同時に幾何学的ブラウン運動モデルのシミュレーションにより再現した劣化過程を点検データ(▲)とともに示す。

(2) NATM トンネルにおける覆工の経年劣化

同様に幾何学的ブラウン運動モデルのドリフト項と拡散項を NATM トンネルにおける点検データより同定し、幾何学的ブラウン運動(伊藤型確率微分方程式)モデルのシミュレーションにより再現した劣化過程を点検データ(▲)とともに示す。

(3) 拡散(ボラティリティ)の経年変動

次に、幾何学的ブラウン運動モデルにおける確率的なランダムな動きすなわち拡散(ボラティリティ)項の同定結果を図-3 に示す。

ここで図-3 において用いた点検データは経年年度を 0 年から 21 年、6 年から 30 年、13 年～37 年というように概ね 20～25 年刻みで分割したデータセットを用いて分散値の変化を示したものであり、経年数の増加により劣化状態の変動幅が大きくなっていることを確認できる。

図-2, 3 より、幾何学的ブラウン運動モデルにおけるトレンドもしくはドリフト成分と覆工の年次点検データのばらつきの解析結果より、トンネルにおける覆工劣化を適切に表現しているものと考えられる。

5. ま と め

寒冷地のトンネル覆工における性能水準の経過年数と劣化度との関係を定量的に把握することを目的として、道

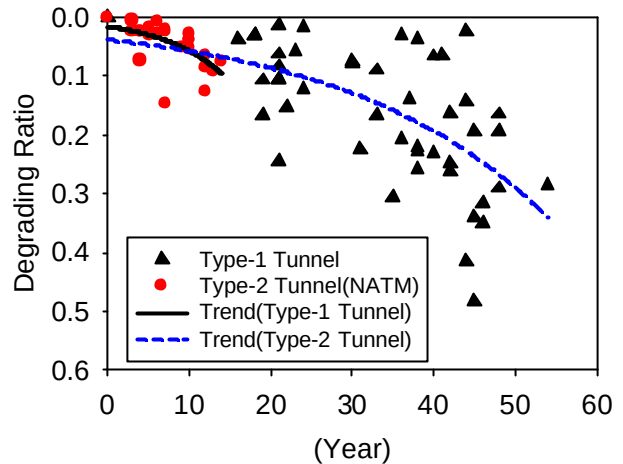


図-2 ひび割れに対する覆工の経年劣化(在来+NATM)

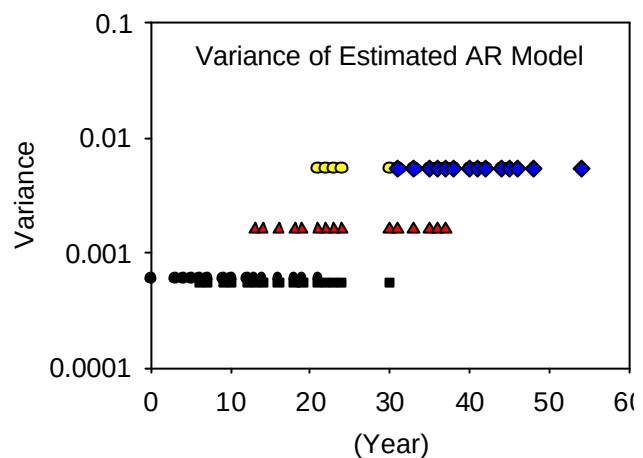


図-3 分散(ボラティリティ)の経時変化

内 68 カ所から得られた点検データを用いて考察し、以下の結果が得られた。

1) 覆工のひび割れを指標とした劣化度は、建設年代(経過経年)に伴い増加していく傾向を示し、同様にその分布も経過年数に伴い広がる傾向を示した。

2) トンネル覆工の劣化モデルは、各スパンや全体の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(伊藤型確率微分方程式)モデルを適用できる。

【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 Vo1.11, 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) 吉本: 不確実性下における人工林施業の経済分析, 統計数理, vol.51, no.1, pp.121-133, 2003.