トンネル覆工における劣化過程のマクロ予測

A Estimattion 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）

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,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 カ所で実施された点検データから試みている.

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.

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.

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

ここでbは平均劣化率(トレンド),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)].

$$dX(t) = bX(t)dt + sX(t)dW_1(t) + \sum_{i>1}\{X_1^* - X_2^*\}l(t-t_1^*) \qquad (2)$$

ここでlはディラックの測度であり,$t=t_1^*$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.

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

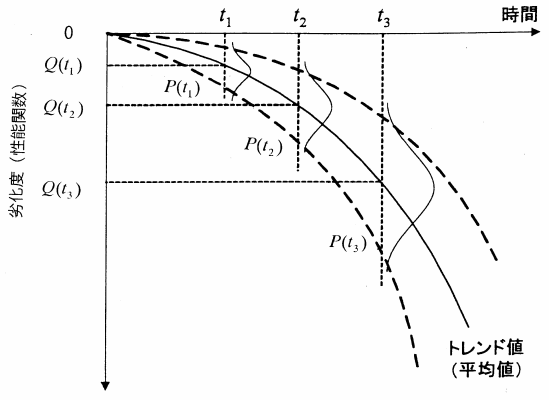

図-1　トンネル覆工の（性能）劣化モデル

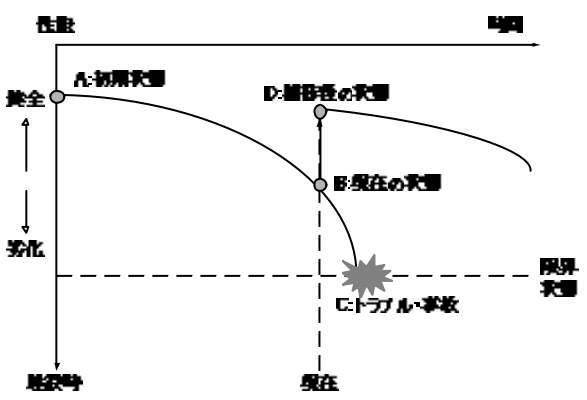

図-2　トンネル覆工の補修・補強の概念図

$$X(t)=X(t_1^*)\exp\{(b-\frac{1}{2}s^2)(t-t_i^*)-s(W_i(t)-W_i(t_i^*))\}$$

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

一般に山岳トンネルの点検は①ひび割れ,②浮き・はく離,③漏水,④目地ずれ・開き,⑤豆板・空洞,⑥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◆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□に示す.

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

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.

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.

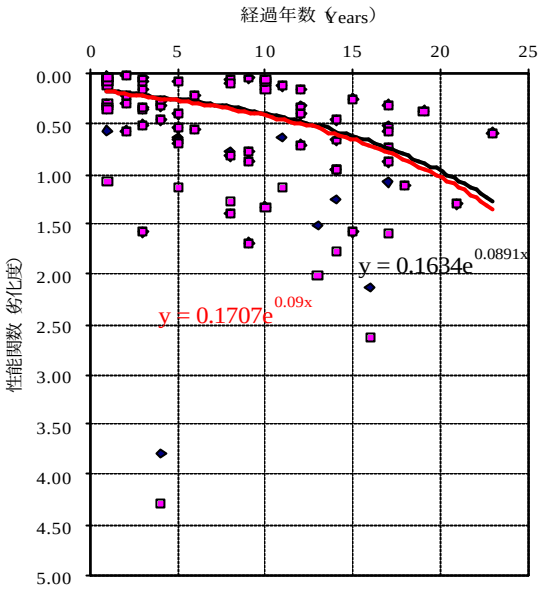

図-3(a)　NATM トンネル覆工の劣化度(～25 年)

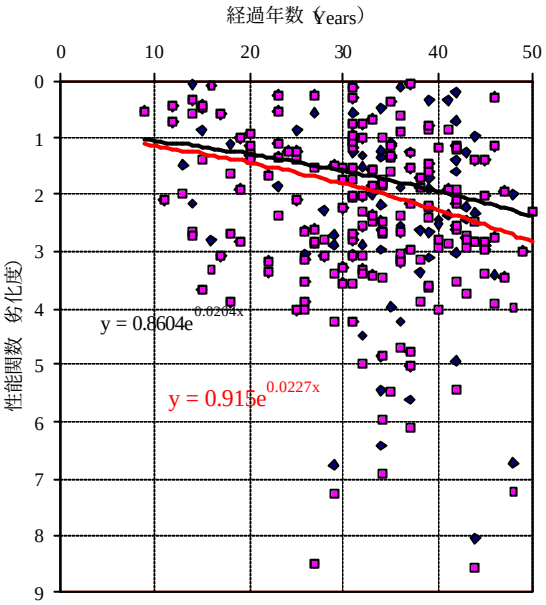

図-3(b)　在来トンネル覆工の劣化度(～50 年)

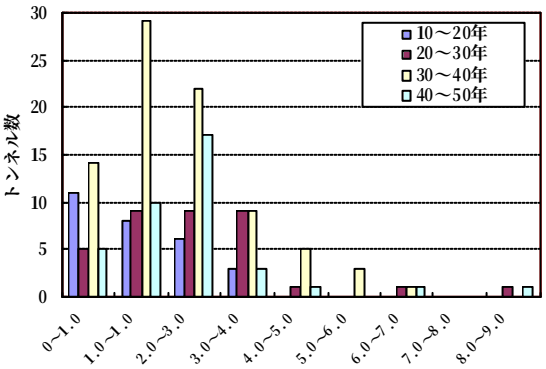

図-4　在来トンネル覆工の劣化分布

【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) 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.97-1072001.