

寒冷地トンネルにおける覆工の補修・補強を考慮した劣化過程について

武蔵工業大学大学院 学生会員 夏目俊幸
 武蔵工業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、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一方、性能水準の推移(劣化)過程が定量化されていないの現状である。

そこで本研究では、寒冷地トンネルの覆工における劣化過程の時間推移および劣化過程に対する補修・補強の影響を北海道内 120 カ所で行われた点検データおよび補修・補強記録から考察を試みている。

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(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、経過年数 t_i における劣化度の分布は $P(t_i)$ となる。

ここで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を適用すると劣化過程は次式で表される。

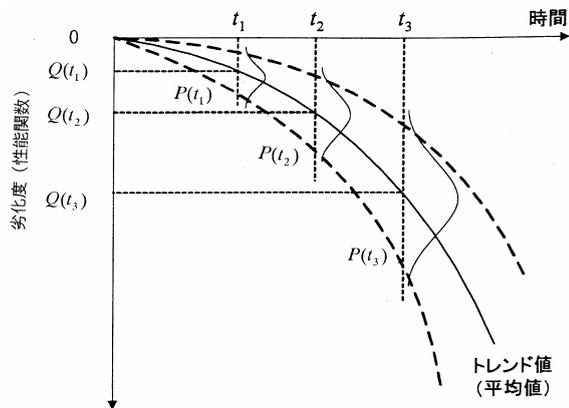


図-1 トンネル覆工の(性能)劣化モデル

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

ここに 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。

また $W_1(t)$ はウィナー過程であり、 $W_1(t)$ 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。

ここでは現在得られている複数の覆工点検データ等に基づいて劣化予測を統計的手法を用いて考察している。

3. 覆工の劣化過程における補修・補強

トンネル覆工の劣化過程は図-2に示すように劣化度により補修・補強を行い健全度を回復させる過程である。

ここで補修・補強が時刻 t_i^* に実施され、覆工の健全度が Z_1^* に改善され、直前の健全度(臨界健全度)を Z_2^* とすればトンネル覆工の劣化確率過程は次式となる⁴⁾。

$$dZ(t) = bZ(t)dt + sZ(t)dW_1(t) + \sum_{i>1} \{Z_1^* - Z_2^*\} \delta(t - t_i^*) \quad (2)$$

$$Z(0) = Z_0 \quad (3)$$

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。

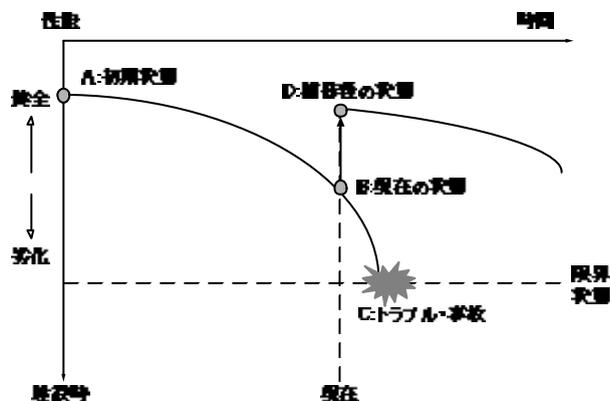


図-2 トンネル覆工の補修・補強の概念図

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, 確率過程補修・補修

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)

この確率微分方程式(2)を伊藤積分すれば以下に示す劣化過程における確率分布の時間的推移を求めることができる。

$$Z(0) = Z_0 \quad (4a) \quad , \quad Z_2^* = Z_1^*(t = t_1^*) \quad (4b)$$

$$Z(t) = Z(t_i^*) \exp \left\{ \left[\mathbf{b} - \frac{1}{2} \mathbf{s}^2 \right] (t - t_i^*) - \mathbf{s} (W_1(t) - W_1(t_i^*)) \right\} \\ t_i^* < t < t_{i+1}^* \quad (5)$$

4. 補強・補修記録による覆工性能の経年劣化過程

本研究では、トンネル覆工の劣化過程および補修・補強の劣化過程に与える影響度を実際に得られている点検データおよび補修記録等を用いて考察する。

一般的に、山岳トンネルの点検は ひび割れ、浮き・剥離、漏水、目地ずれ・開き、豆板・空洞、遊離石灰の6項目に対して実施し、これらの状態を定量的・総合的に評価しているものであるが、これら6項目がどのように覆工の要求性能に影響するかを評価することは非常に難しい。そこで北海道内の120トンネルにおいて得られた点検データから、ひび割れ、浮き・剥離の2項目に対して評価を行うこととした。

在来工法で施工されたトンネル(120箇所)の覆工に対する経年劣化過程と補修・補強を実施したトンネルに対して劣化度を補正(0.5point)たものを図-3に示す。

図-3より、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、補修・補強を考慮した在来トンネルの覆工劣化のトレンド(平均)値は式(6)に示すようになった。

$$Q(t_i) = 1.782e^{0.0243x} \quad Q(t_i) = 1.852e^{0.0197x} \quad (6)$$

加えて、図-4,5に示すように分布関数も経過年数と共に広がる傾向を示し、補修・補強を考慮すると劣化度(性能関数) $Q(t_i)$ が正規分布に近づき、図-1に示すような経過年数 t_i と劣化度(性能関数) $Q(t_i)$ との概念のようになるが補修・補強工法別の性能回復値の詳細については信頼性が低いのが現状である。

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および補強・補修が覆工の劣化度と与える影響を定量的に把握することを目的として、道内120カ所から得られた点検データと補修記録を用いて考察した結果、1)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、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)覆工に対する補修・補強を考慮すると経年劣化の分布がある分布となると考えられる。

今後、トンネル覆工における劣化度(性能関数)の定量的評価はトンネルのライフサイクルマネジメントやス

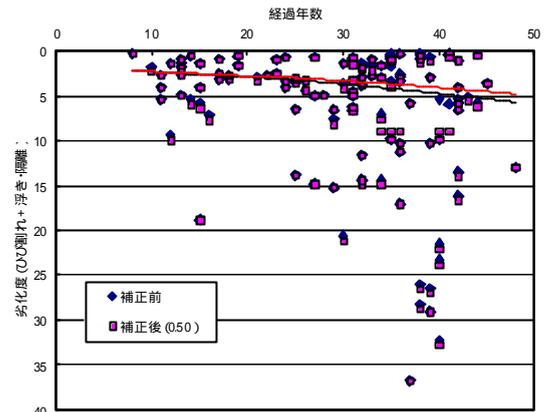


図-3 補修・補強が評価値に与える影響

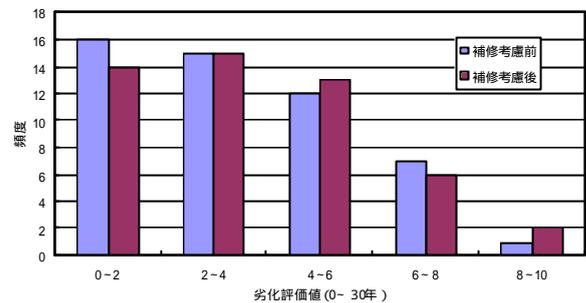


図-4 劣化評価値の頻度(経過年数10~30年)

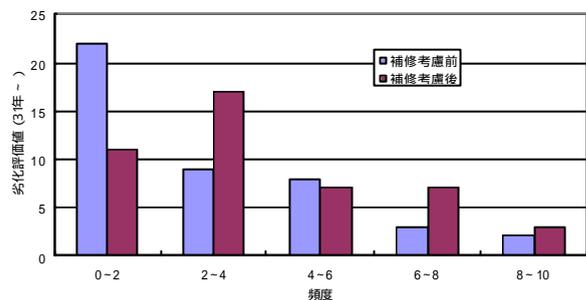


図-5 劣化評価値の頻度(経過年数31~50年)

tockマネジメントを行う上で重要な項目であるため、さらに詳細を検討してモデルを確立していく予定である。

【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.