

# 寒冷地トンネルにおける覆工劣化のロングテール分布

Long- Tailed Distributions for degrading of tunnel lining

東京都市大学工学部都市工学科 正会員 須藤敦史(Atsushi Sutoh)  
(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京 (Takashi Sato)

## 1. はじめに

最近，社会基盤施設の老朽化に伴うさまざまな不具合が現れてきている．特に山岳トンネルは長い耐用年数の構造物であるため，北海道のように厳しい環境のなかで長寿命化を実現するためには，予防保全を基本とした維持管理システムの構築（Life Cycle Management：LCM）とその効率的な運用が必須とされている<sup>1)</sup>など．

一方，山岳トンネルにおいて効率的な維持管理・長寿命化を行うためには，トンネル覆工の劣化状態の正確な把握およびそれらの動向・変化および将来予測が非常に重要となる．

そこで本研究では，山岳トンネルにおけるLife Cycle Cost (LCC) の考え方を概観しており，加えて北海道のトンネル点検記録よりトンネル覆工における劣化状態の分布傾向を報告する．

## 2. 山岳トンネルの Life Cycle Cost(LCC)

一般に LCC は，耐用年数における初期建設費と破壊時（復旧）費用の和で表される式(1)の期待総費用の最小化を指標としている<sup>2)</sup>など．

$$ETC = C_i + P_f C_f \quad (1)$$

$ETC$  : 期待総費用,  $C_i$  : 初期建設費,

$P_f$  : 対象事象の破壊確率,

$C_f$  : 破壊時費用（維持管理費含む）

そこで，式(1)の最小化にはトンネル構造物が社会資本として満足しなければならない性能水準を定めて，さらに供用期間（耐久年数）における構造物の経年劣化と生じるさまざまな事象（リスク）と考慮した予防保全を前提とした維持管理システムが必要である（図.1 参照）．

## 3. LCC における Risk Management (RM)の位置づけ

一般的な LCC ではトンネル構造物の点検や補修・補強タイミングを最適化し，かつその工法・規模を選択・決定して効率的に実施しなければならない．

しかし，これらの選択・決定に対しては，現在トンネル構造物が現在どのような損傷状況なのか？さらに供用期間に有するリスクが考慮されていないのが現状であり，加えてどの段階（時期）でどのような工法でどの程度，補修・補強を実施するのか？などの基本的な考え方やその判断基準を具体的に示されておらず，今後はこれらを明確に示すことは，事業者の説明責任を果たす上においても最も重要である．

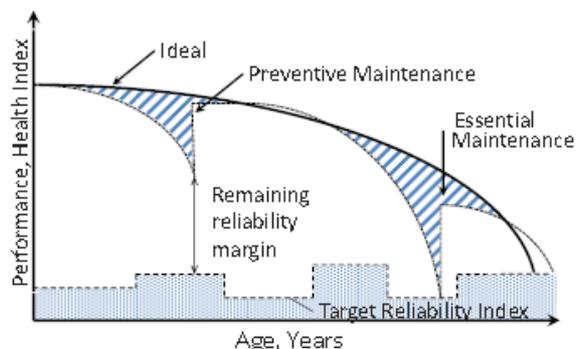


図.1 LCMにおける維持管理の概念<sup>1)</sup>

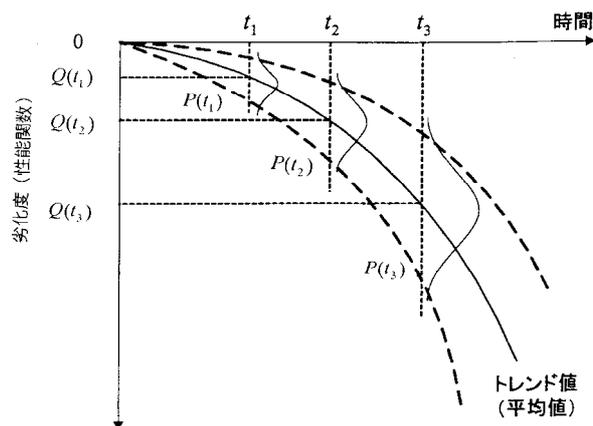


図.2 山岳トンネルの性能劣化モデル

寒冷地トンネルの経年劣化は，その冬期の環境が厳しいため，表面の氷結や地山の凍上による覆工の劣化・損傷が多く見られ，加えてその形態が多岐にわたることより，一般的に劣化変動・分布が大きく，適切な評価・予測はきわめて難しいのが現状である

そこで RM では現状のトンネル覆工における劣化（分布）状態のデータ収集・整理や劣化推移モデルの検討・検証，さらに共用期間における損傷リスクを適切に評価将来の予測精度を高めるために重要である<sup>3),4)</sup>など．

## 4. トンネル覆工の劣化分布（ボラティリティ）

劣化成長モデルはブラック・ショールズ（B-S）の幾何学的ブラウン運動（伊藤型確率微分方程式）モデルにおいて  $Q(t)$  の分布は対数正規分布  $P(t)$  を示す<sup>5)</sup>など（図.2参照）．

北海道内において矢板工法で施工されたトンネ

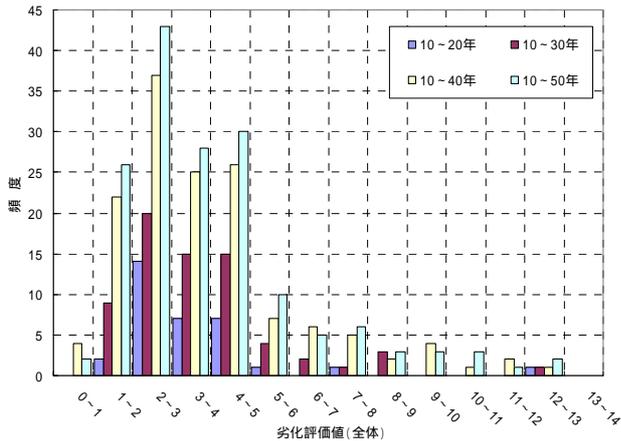


図.3 トンネル覆工の劣化分布 (経過年数31~50年)

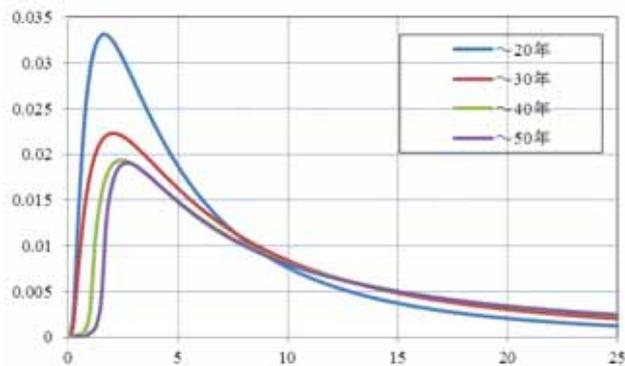


図.4 正規化したトンネル覆工の劣化分布 (経過年数31~50年)

ル (162個所) で得られた覆工の点検データから得られた、劣化過程 (経年劣化) の分布 (ポラリティ) 項の期間ごとの推移を図.3に示す。また正規化した経年別の劣化分布状態は図.4に示すように幾何ブラウン運動の理論どおりに経過年数  $t_i$  とともに劣化度 (性能関数)  $Q(t_i)$  は対数正規分布  $P(t_i)$  で広がっている。

### 5. 覆工劣化のロングテール分布

ガマタトンネルにおける覆工の経年平均劣化とその分布状態 (標準偏差) を図.5に示す。

送毛・ガマタ・大平トンネル覆工は経過年とともに平均劣化は進行しており、その分布状態 (標準偏差) も広がる傾向を示す。

図.5 よりガマタトンネルにおけるトンネル覆工の経年平均劣化とその分布状況 (ヒストグラム) は、ガマタトンネルの覆工は経年とともに劣化は進行している。また分布状態 (ヒストグラム) も広がる傾向を示しており、その分布は対数正規分布もしくはロングテール分布を示している。

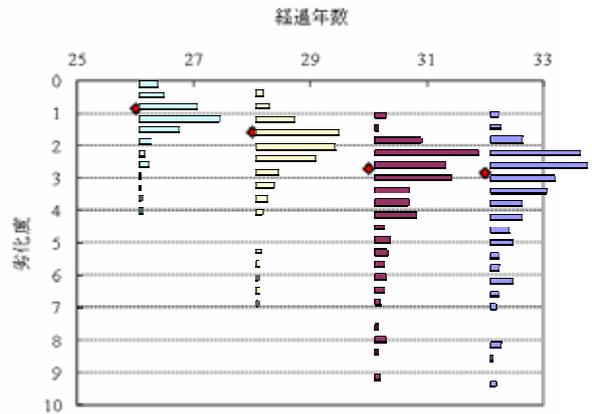


図.5 ガマタトンネルにおける経年の平均劣化と分布

### 5. おわりに

寒冷地トンネルにおけるLCMの構築を目的として、現状のトンネル覆工における劣化分布と経過年数との関係と北海道内における矢板工法のトンネルで得られた覆工の点検データを用いて考察した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 劣化 (性能関数) の分布は、幾何ブラウン運動の理論通りに対数正規分布もしくはロングテール分布を示しており、経過年数とともに広がっていくと考えられる。
- 2) ブラック・ショールズの劣化モデルは、トンネル覆工における劣化の分布状態の評価ができ、加えてリスクの評価もお考慮した将来予測が行えるため、最適な補修、補強時期が適切に判断でき、合理的なライフサイクルマネジメント (LCM) の構築が可能となる。

### 参考文献

- 1) 岡田正之, 三上隆, 川村浩, 須藤敦史, 角谷俊次: 寒冷地トンネルにおけるライフサイクルマネジメントの基礎考察, 土木学会第 59 回年次学術講演会 -397, pp.791-792,2004.
- 2) 長尾 毅, 柴崎隆一, 尾崎竜三: 経済損失を考慮した期待総費用最小化のための岸壁の常時のレベル信頼性設計法, 土木学会, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.389-400,2005.
- 3) 須藤敦史, 近野正彦, 丸山収, 佐藤京, 西弘明: 寒冷地トンネルの覆工における劣化過程の同定と長期予測, 土木学会 論文集 F1 (トンネル工学), Vol.20, pp.61-68, 2010.
- 4) 須藤敦史, 佐藤京, 西弘明: 積雪寒冷地トンネルにおける TMS 構築に関する研究, 土木学会 第 21 回トンネル工学研究発表会論文集, pp.203-208, 2011.
- 5) 須藤敦史, 丸山収, 佐藤京, 西弘明: 性能規定に基づく寒冷地トンネル覆工の劣化予測のためのマルコフ遷移確率行列の同定, 土木学会 論文集 F1 (トンネル工学), Vol.22, pp.61-68, 2012.