

既存山岳道路トンネルの保有性能低下の予測法の検討

金沢工業大学大学院 (現代設計) 学生会員 横山正浩¹⁾

金沢工業大学 正会員 木村定雄²⁾

1. はじめに

国際設計標準の ISO が整備される中で、わが国のトンネル構造物においても ISO への対応が進められている。そこで、トンネル工学委員会では、これまでにトンネルの性能規定化に関する研究がなされ、図 1 に示すように性能規定に基づくマネジメントの考え方を論じている。そこで、既往の研究では、維持管理段階を対象とした性能規定に基づくマネジメントの考え方として、既存の山岳道路トンネルの定量的な保有性能評価手法の考え方が示されている¹⁾。しかしながら、性能規定に基づくマネジメントを実施する上で、定量的に保有性能の評価を行い、その結果を用いて図 1 に示すように将来の保有性能を予測し、LCC の評価、補修・補強の計画を立て、戦略的にマネジメントを行っていく必要がある²⁾。

本研究では、定量的に既存山岳道路トンネルの保有性能評価を行えるトータル性能インデックス(以下、TPI と称す)を用いて、平成 12 年および平成 16 年に点検された既存の山岳道路トンネルの点検結果より TPI 評価を行い、その結果を用いて、確率過程を適用した将来の保有性能低下を予測するためのモデルを構築することを目的とする。すなわち、幾何ブラウン運動を用いて TPI の保有性能低下を予測するモデルを構築し、将来状態の保有性能を評価する。

2. トータル性能インデックスの概要

性能規定に基づくマネジメントを実施するため、トンネルの目的・機能から各トンネルの用途に応じた要求性能を定義し、これに基づき保有性能評価を実施する。表 1 は山岳道路トンネルの要求性能項目を示している。山岳道路トンネルの保有性能は、スパンや区間を一元的に評価し、AHP(階層分析法)を採用し評価する。式(1)は TPI の定義を示す。

$$TPI = \sum_{i=1}^n C_i * P_i \quad (1)$$

ここで、TPI = トータル性能インデックス、 C_i = 要求

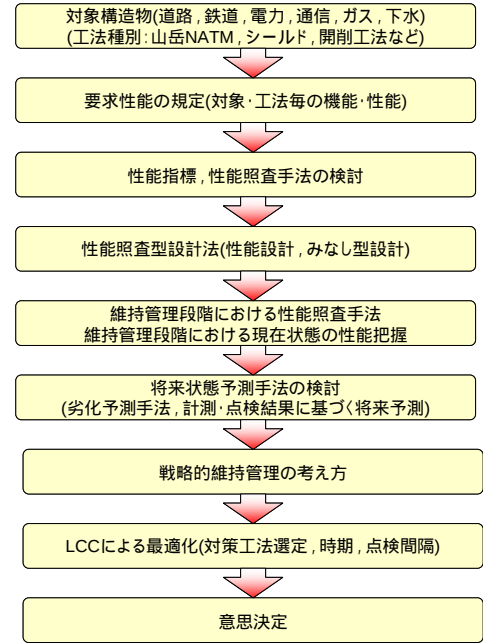


図 1 性能規定に基づくマネジメントの流れ¹⁾

表 1 山岳道路トンネルの要求性能¹⁾

大項目	小項目	
利用者の安全性能	良好な道路線形を確保できる	0.000
	なめらかに走行できる	0.000
	建築限界を確保できる	0.000
	必要な視認性を確保できる	0.000
	はく落が生じない	0.344
	漏水が生じない	0.087
	必要な換気能力を確保できる	0.000
	非常時に防災設備が確実に作動する	0.000
利用者の利用性能	防災設備を適切に配置できる	0.000
	良好な道路線形を確保できる	0.000
	補修頻度が少ない	0.000
	乗り心地に影響するトンネル変形が生じない	0.000
	利用者が不快感・不安感を持つような漏水・ひび割れが見られない	0.180
	必要な視認性を確保できる	0.000
	圧迫感のない空間である	0.000
	覆工が安定する	0.129
構造安定性能	地山が安定する	0.000
	供用期間中に想定される地震変動に対して覆工に必要な耐荷性能を有する	0.052
	地山が安定する	0.000
	供用期間中に想定される近接施工による影響や周辺環境の変化など、荷重条件の変化に対して必要な耐荷性能を有する	0.065
	地山が安定する	0.000
	地山が安定する	0.000
	火災時に覆工の耐荷力が維持できる(後荷重が作用している場合)	0.000
	火災時に覆工の耐荷力が維持できる(耐火気を設置する場合)	0.000
耐久性	鉄筋腐食が少ない	0.029
	覆工・諸設備の劣化原因となる漏水が生じない	0.046
	覆工材(コンクリート、煉瓦など)の侵食・劣化が少ない	0.068
管理者の使用性能	必要な内空断面(建築限界)を確保できる	0.000
	建築限界を優すことなく非常用諸設備や管理用設備を収容できる	0.000
維持管理性能	日常の巡回・点検・清掃が安全・容易にできる	0.000
	対策工の足場の設置と資材置き場の確保ができる	0.000
周辺への影響度	内空断面に補修・補強余裕が確保されている	0.000
	地下水位変動が許容範囲内である	0.000
	周辺の地下水汚染影響が許容範囲内である	0.000
	地表面のホコリ・塵埃が許容範囲内である	0.000
	近接建物・埋設物などへの影響が許容範囲内である	0.000
	周辺での振動・騒音が許容範囲内である	0.000
	周辺の大気環境への影響が許容範囲内である	0.000
	換気塔・坑口が周辺景観を損なわないデザインである	0.000

性能に対する重み係数、 P_i = 各要求性能に対する性能評価基準、 n = 要求性能評価項目の数である。式(1)を用い

キーワード：性能規定，山岳道路トンネル，保有性能評価，確率過程

1) 460-0012 愛知県名古屋市中区錦 1-5-27 第 41 オーシャンビル TEL：052-232-0922

2) 924-0838 石川県白山市八束穂 3-1 地域防災環境科学研究所 TEL：076-274-7704

て、平成12年および平成16年に点検された山岳道路トンネルの点検結果である覆工展開図よりTPIの算出を行った。TPIの算出結果を表2および図2に示す。図2はTPIの性能がゼロ以下とならない性質を考慮し、対数正規分布を用いてTPIの確率密度を求めたものである。表2から平成12年から平成16年にかけてTPIの母集団の平均値が性能低下側へ推移し、またバラティリティーが大きくなっている。

3. 幾何ブラウン運動を用いたTPIの性能低下モデル

TPIを用いた保有性能の予測法を確率過程を用いて評価した。そこで、平均的な劣化推移トレンドと、点検年度によって評価されるTPIの統計的データより得られたTPI母集団のバラティリティーを特性とした保有性能予測手法である幾何ブラウン運動を用いて、将来の保有性能状態の予測を行うモデルを定式化し提案する。TPIの確率過程が幾何ブラウン運動に従うと仮定するならば、幾何ブラウン運動の式は式(2)で示すことができる³⁾。

$$\begin{aligned} dX(t) &= \mu X(t)dt + \sigma X(t)dW(t) \\ X(0) &= X_0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $X(t)$ は保有性能の変化の増分、 μ は $X(t)$ に対するトレンド、 σ は $X(t)$ に対するバラティリティー、 dW はウィーナー過程である。もし、 μ 、 σ が時間を通じて一定と仮定できるならば²⁾、式(2)の解は、式(3)で示すことができる。

$$X(t) = X(0) \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W(t)\right) \quad t \geq 0 \quad (3)$$

ここに、 $X(t) = X_0(t) = TPI(t)$ (4)

次に、平成12年および平成16年のTPI結果より、TPIの推移を確率的に予測するためのパラメータを設定した。表3は幾何ブラウン運動に用いるパラメータを推定するための統計データである。TPIトレンド大およびトレンド小は、TPIの確率母集団を正規分布とした場合の5%および95%の確率に位置するTPIの得点である。表4は幾何ブラウン運動に用いるパラメータを示している。 μ は平成12年および平成16年のTPI母集団の平均値より線形近似を行い推定した。 σ は平成16年と平成12年のバラティリティーの差分で表している。また、ウィーナー過程は今回の解析では0と設定した。表3より幾何ブラウン運動を適用し、保有性能低下の推移を予測した結果を図4に示す。図4より幾何ブラウン運動を用いてTPIの保有性能低下の予測を行うことが可能であることが

表2 TPI評価結果 H12年とH16年の比較

	平成12年	平成16年
データ数	99	99
平均値	2.399	3.658
標準偏差	1.095	1.606
分散	1.187	2.554

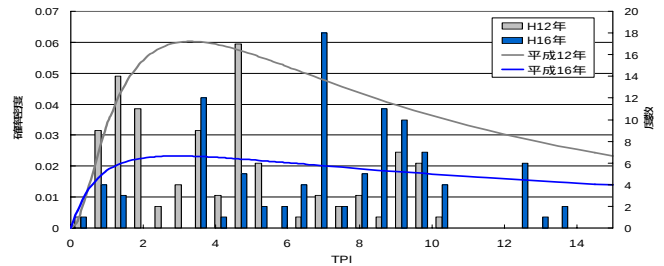


図2 TPIの評価結果

表3 TPIの統計データ

	平成12年	平成16年
TPI平均値	2.399	3.658
TPIトレンド大	0.819	0.662
TPIトレンド小	0.598	1.016
標準偏差	1.095	1.606
分散	1.187	2.554

表4トレンド推定パラメータ

パラメータ	μ	σ	dW
μ	0.315		
μ トレンド大	0.367	0.511	N(0,1)
μ トレンド小	0.262		

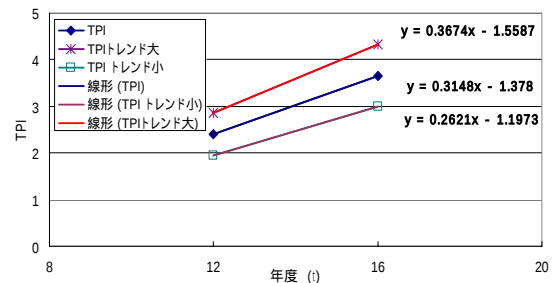


図3トレンドの推定

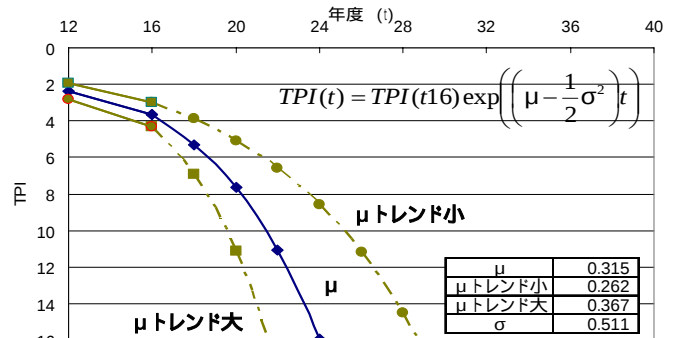


図4 TPIの将来状態の推移

確認することができる。

4. まとめ

今回のTPIの予測はヒストリカルデータを用いて評価した。保有性能低下に要因する μ 、 σ の値によって、TPIの推移は大きく変化することが確認できた。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会：トンネルライブラリー21 性能規定に基づくトンネルの設計とマネジメント，丸善，2009.10
- 2) 篠田将希，木村定雄，白子哲夫，山田浩幸：山岳トンネルの健全度と保有性能の定量的評価に関する一考察，地下空間シンポジウム論文・報告集第16巻，pp55-62，2011.1
- 3) 箕谷千凰彦：よくわかるブラックショールズモデル，東洋経済出版社.2000.3