

# 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<sup>1)</sup>  
 金沢工業大学 正会員 木村定雄<sup>2)</sup>

## 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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。

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

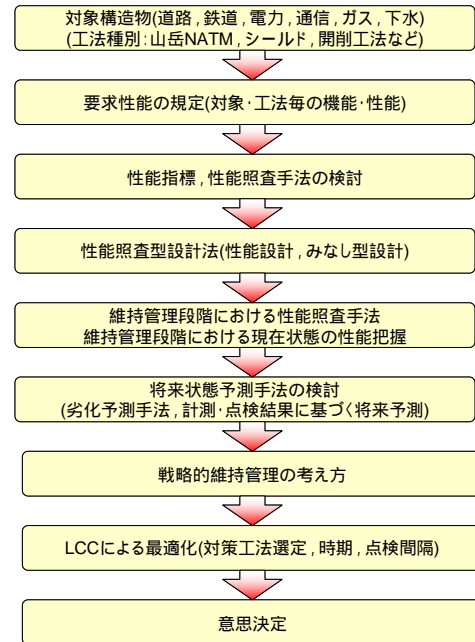


図 1 性能規定に基づくマネジメントの流れ<sup>1)</sup>

表 1 山岳道路トンネルの要求性能<sup>1)</sup>

大項目	小項目	0.000	0.000
利用者の安全性能	0.431	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	0.344
		はく落が生じない	0.087
利用者の利用性能	0.180	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
		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
構造安定性能	0.246	0.180	0.180
		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	0.000
		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
		0.129	0.065
耐久性	0.143	0.029	0.046
		0.068	0.000
		0.000	0.000
		0.000	0.000
		0.000	0.000
管理者の使用性能	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.000
維持管理性能	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.000
周辺への影響度	0.000	0.000	0.000
		0.000	0.000
		0.000	0.000
		0.000	0.000
		0.000	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、またボ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* 母集団のボ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<sup>3)</sup>。

$$dX(t) = \mu X(t)dt + \sigma X(t)dW(t) \quad (2)$$

$$X(0) = X_0$$

ここで、 $X(t)$  は保有性能の変化の増分、 $\mu$  は  $X(t)$  に対するトレンド、 $\sigma$  は  $X(t)$  に対するボラティリティー、 $dW$  はウィーナー過程である。もし、 $\mu$ 、 $\sigma$  が時間を通じて一定と仮定できるならば<sup>2)</sup>、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。 $\mu$  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。 $\sigma$  は平成 16 年と平成 12 年のボ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

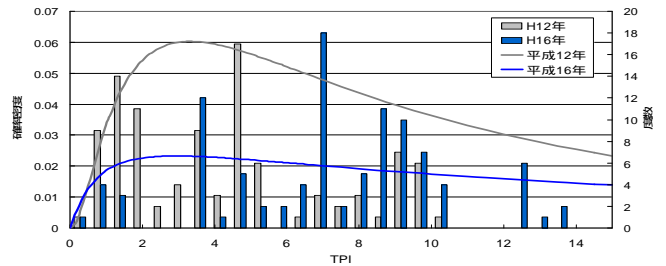


図 2 *TPI* の評価結果

表 3 *TPI* の統計データ

	平成12年	平成16年
<i>TPI</i> 平均値	2.399	3.658
<i>TPI</i> トレンド大	0.819	0.662
<i>TPI</i> 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	$\mu$	$\sigma$	dW
$\mu$	0.315	0.511	N(0,1)
$\mu$ トレンド大	0.367		
$\mu$ トレンド小	0.262		

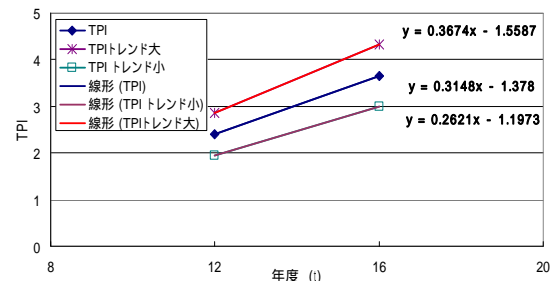


図 3 トレンドの推定

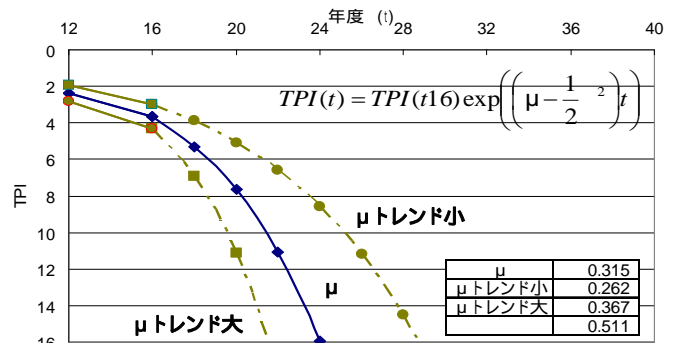


図 4 *TPI* の将来状態の推移

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  $\mu$ 、 $\sigma$  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