

確率過程を用いた高速道路トンネルの保有性能低下の予測手法の検討

金沢工業大学大学院 学生会員 原 直之¹⁾
金沢工業大学 正会員 木村定雄¹⁾
中日本高速道路(株) 正会員 森山 守²⁾

1. はじめに

これまでに、筆者らは既存のトンネル覆工の保有性能を定量的に評価し、将来の保有性能変化を確率的に予測する手法を検討してきた¹⁾。すなわち、トンネル覆工に要求される性能²⁾(表1参照)と現行のトンネルの維持管理で実施されている点検評価(現行法)との整合を図り、点検評価の結果から保有性能を定量的に評価し、将来状態を予測する手法を検討してきた。ここでは、当該のトンネルの要求性能項目すべての平均的な保有性能をトータル性能インデックス(TPI)で評価した。一方、図1に示すトンネルのサービスレベルに応じたマネジメントの考え方²⁾によると、高速道路のようにサービスレベルが高位のトンネルでは、トンネル覆工のすべての要求性能項目の平均的な保有性能評価ではなく、要求性能として示される大項目ごとに性能を評価する必要があると考えられた。そこで、高速道路の点検要領および平成17年から平成23年までの高速道路の点検データを参考にして、高速道路トンネルの保有性能評価を要求性能大項目ごとに評価することを試みた。また、その結果を用いて、幾何ブラウン運動を適用した将来状態の保有性能低下の予測手法を検討した。

本報告は要求性能項目ごとに保有性能を評価する指標をパフォーマンスインデックス(PI)として、保有性能評価手法とこれを用いた保有性能低下予測手法について述べたものである。

2. 保有性能評価の概要

表2は対象としたトンネルの概要を示したものである。現行法による点検評価結果を表3に示す。また、表4は現行法による健全度評価基準を性能評価基準に適用した要求性能評価基準を抜粋したものである。表4の性能評価基準を用いて当該のトンネルの1スパンごとに各要求性能大項目に対応した

表1 要求性能項目(大項目)

要求性能(大項目)			
1.利用者の安全性能			
2.利用者の利用性能			
3.構造安定性能			
4.耐久性能			
5.管理者の使用性能			
6.維持管理性能			
7.周辺への影響度			
サービスレベル	低位		高位
	交通量少,劣化進行低 山間部		交通量大,劣化進行高 重要路線,緊急輸送路
性能規定	利用者の安全性能・使用性能,構造安定性能,耐久性能 管理者の使用性能,維持管理性能,周辺への影響度		
性能照査指標	極力数値化が可能な指標を選定		
設計法	見なし型設計		性能設計
モニタリング	点検+必要に応じて 簡易計測		点検+計測
健全度評価法	レーティングが基本		性能照査型評価法
維持管理段階における性能照査手法	点検(十簡易計測)結果 によるレーティング		計測を主体とした数値化 指標による照査
将来状態予測手法	確定論的予測 (残存耐力)		信頼性,確率論的手法など による不確実性を考慮 した予測法
LCC最適化による意思決定	点検,補修を想定したLCC		LCC最適化を実施

図1 サービスレベルに応じたマネジメントの考え方

表2 トンネルの概要

車線数	トンネル延長	スパン数	供用年次
2	1163m	97スパン	1980年4月

表3 現行法によるトンネル覆工の点検評価結果

判定区分	C	B	A	AA
平成17年度	517	742	292	0
平成23年度	482	344	726	0
増減率(%)	-7%	-54%	250%	0%

AA:損傷・変状が著しく、機能面からみて速やかに補修が必要である場合
A:機能低下が見られ補修が必要であるが、速やかに補修を要しない場合
B:損傷・変状はあるが機能低下が見られず、継続的に観察する必要がある場合
C・OK:損傷・変状が軽微な場合

$PI_{1j} \sim PI_{7j}$ を算出した。 PI_{mj} は、各要求性能小項目に対応した重み係数(C_i)、各要求性能小項目に対応した性能評価基準値(P_i)、各要求性能大項目を構成する小項目数(n)によって式(1)で表わされる。

キーワード: 性能規定, トンネル覆工, 性能評価, 劣化予測, 維持管理

1)924-0828 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 FAX:076-274-7120

2)920-0365 石川県金沢市神野町東170 TEL:076-240-4965 FAX:076-240-4991

表 4 性能評価基準表（一部抜粋）

要求性能			AHPによる 重み係数: <i>Ci</i>	性能評価基準: <i>Pi</i>			
大項目	中項目	小項目		OK・C	B	A	AA
				損傷・変状がないか、又は軽微な場合	損傷の進行状態を継続的に観察する必要がある	機能低下が見られ補修が必要であるが速やかに補修を要しない	機能面からみて速やかに補修が必要である
				1点	3点	5点	E 第三者に影響を与える可能性がある変状 7点
利用者の安全性能	安全に走行できる	良好な道路線形を確保できる	0.104	—	—	側方および下方からの応力の影響により、舗装および路面排水設備に、段差、ひび割れ、路肩損傷の異常がある場合。	側方および下方からの応力の影響により、大規模な舗装および路面排水設備に、段差、ひび割れ、路肩損傷の異常がある場合。
		なめらかに走行できる 建築限界を確保できる	0.202	—	目視により損傷が認められる場合、 目地のずれ、開き、段差などがあるが進行が認められない場合。	目視により損傷が認められる場合、 目地のずれ、開き又は段差などが著しく進展の恐れがある。	目視により損傷が認められる場合、 目視により、明らかに沈下している場合、または背面と本体覆工打設面に輪切り状のひび割れが見られ傾きの兆候が判断される場合。(E)
		必要な視認性を確保できる	0.116	トンネル内が明るく、視線誘導も良好で快適に走行性できる	多少の汚れがあるが、視認性を阻害するまではなく、完全に走行できる	・車両や路上落下物などは認識できるが、全般に暗い印象があり、設計速度での走行には緊張感が伴う・視線誘導が十分ではない・所要の輝度が確保されていない可能性がある	・照明灯具の寿命が切れているが破損している・路上落下物等が認識しにくく、設計速度では安全に走行できない・視線誘導が十分でなくトンネルの方向がわかりづらい

$$PI_{mj} = \sum_{i=1}^n Ci * Pi \tag{1}$$

当該トンネルの保有性能は全 97 スパンの PI_{mj} を要求性能大項目ごとに平均して、 $PI_{m\text{ave}}$ で与えられる。

3. 保有性能低下予測のパラメータスタディ

要求性能大項目ごとに、平成 17 年度と平成 23 年度の $PI_{m\text{ave}}$ を算出して保有性能低下予測を行った。また、性能評価基準値の配点の大きさの影響を分析するために、表 5 に示す配点ケースでパラメータスタディを実施した。当該のトンネルの点検評価結果(表 3)をみると、AA に属するデータが存在しないことから、ここでは B、A 評価に差を設けた配点としている。保有性能低下の予測は、平成 17 年度から平成 23 年度の各 $PI_{m\text{ave}}$ のトレンド(μ)、ボラティリティ(σ)を求め、式(2)に示される式によるものとした。

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

ここで、 $X(t) = X_0(t) = PI(t)$ (3)

図 2 から図 4 に $PI_{m\text{ave}}$ の予測結果を示す。ケース①では構造安定性能と耐久性能が早期に低下する傾向がある。一方、ケース②、ケース③では構造安定性能と利用者の利用性能が早期に低下する傾向がある。以上から $PI_{m\text{ave}}$ による保有性能低下予測では、要求性能項目ごとにその低下予測は可能となるが、その一方で、性能評価基準の配点を変えると、クリティカルになる要求性能項目そのものが異なる可能性があることがわかった。したがって、性能評価基準の配点設定にあたっては、過去に A、AA と判定された対策の是非を参考にして、配点を適切に決定する必要がある。また、将来の対策実施の可否を判定するためには、A、AA の閾値をあわせて検討する必要がある。

表 5 配点ケース一覧

	C	B	A	AA
ケース①	1	3	5	7
ケース②	1	5	20	50
ケース③	1	10	30	50

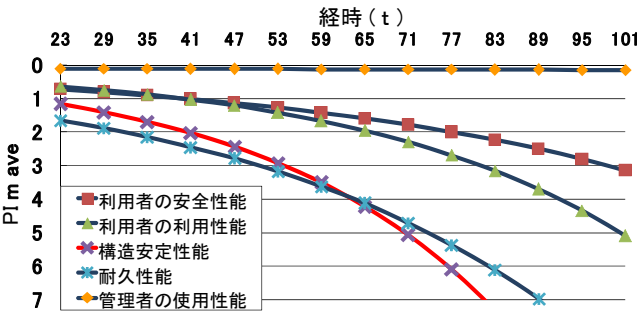


図2 ケース①の性能低下予測結果

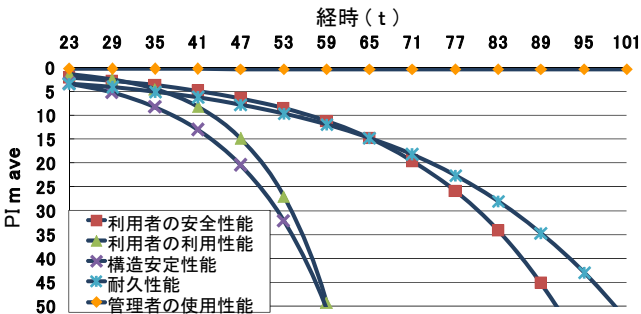


図3 ケース②の性能低下予測結果

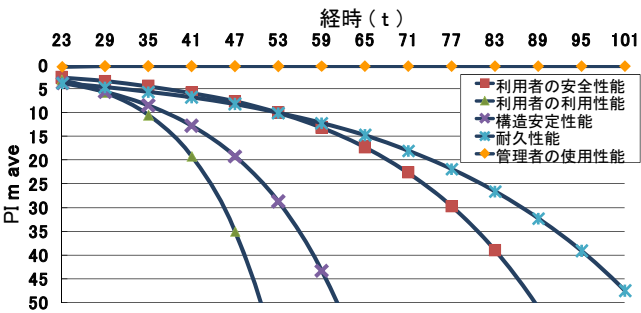


図4 ケース③の性能低下予測結果

参考文献

1) 横山正浩, 木村定雄: 既存山岳道路トンネルの保有性能低下の予測法の検討, 土木学会第 66 回学術講演会, CS5-009, 2011. 3.
2) 土木学会: 性能規定に基づくトンネルの設計とマネジメント, トンネルライブラリー第 21 号, 2009. 10.