

点検データ不足を考慮した道路トンネル劣化予測手法の検討

長崎大学大学院 学生会員 ○小坂悠樹 工学部 フェロー 蔣 宇静
 長崎大学大学院 フェロー 棚橋由彦 工学部 正会員 李 博, 杉本知史
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 小川能克 長崎県土木部 大嶽剛志

1. 研究の目的と背景

わが国は島国であるとともに、国土の6割以上を山地が占める山国でもあり、このような地形的制約から、都市間を結ぶ交通手段としてのトンネルは重要な役割を担っている。また、高度経済成長期に整備された多くのトンネルは、供用後数十年以上経過しており、老朽化による更新時期を迎えている。このような状況の中、少ない予算で効率的な補修・改修が望まれている。本研究は、長崎県内の道路トンネルを対象として、既存のトンネル点検資料をもとに有効な維持管理を行うための最適な劣化予測モデルを構築することを目的とする。

2. 対象トンネルの概要と健全度

本研究では長崎県が管理する計123本の道路トンネルのうち、2009年に詳細調査を実施した28本を対象とした。詳細調査では目視点検や地中レーダ探査などによって、覆工表面のひび割れ、浮き・剥離、漏水、覆工厚や背面空洞などが確認されている。

判定は、緊急度と変状の程度、通行者、車両の安全性などに着目して、S, B, A, 2A, 3Aの5段階の判定区分とし、判定区分毎に判定ポイントを設定した。判定区分は「道路トンネルの維持管理便覧」¹⁾、判定ポイントは「道路保全センター」²⁾の資料を参考とした。表-1は判定区分と判定ポイントの関係を示す。本研究では詳細調査のうち、ひび割れ、浮き、漏水の3つの劣化項目に着目して、最も低い判定項目を重視してスパン毎に総合判定を行い、以下の式によって全スパンの判定結果の平均をトンネルの健全度とした。表-2は(1)式によって得られたトンネル毎の健全度を示す。ここで係数a, b, c, d, eは、トンネルのスパン毎の判定区分S, B, A, 2A, 3Aの個数である。

$$\text{健全度} = \frac{a \times 1 + b \times 0.9 + c \times 0.8 + d \times 0.4 + e \times 0}{a + b + c + d + e} \quad (1)$$

3. 劣化予測

3.1 劣化予測モデル

劣化予測モデルは、現状に至るまでの劣化過程を反映することが望ましいが、構築後数十年以上経過したトンネルでは、過去の点検記録などの情報が残されていないケースも多く、現状のみの状態によって将来の劣化を予測する必要がある。本研究では、最も単純で実用的なマルコフ過程に従う劣化予測モデルを用いた。マルコフ過程は現状までの過程とは関係なく、現状のみで決定される確率モデルである。図-1はマルコフ過程による劣化予測モデル

表-1 判定区分と健全度¹⁾²⁾

判定区分	判定ポイント	判定の内容
3A	0	変状が大きく、歩行者・通行車両に対して危険があるため、直ちに何らかの対策を必要とするもの
2A	0.4	変状があり、それらが進行して、早晚通行者・通行車両に対して危険を与えるため、早急に対策を必要とするもの
A	0.8	変状があり、将来通行者・通行車両に対して危険を与えるため、重点的に監視をし、計画的に対策を必要とするもの
B	0.9	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では通行者・通行車両に対して影響はないが、監視を必要とするもの
S	1	健全で機能的にも問題がない

表-2 各トンネルの健全度

トンネル名	経過年	健全度	トンネル名	経過年	健全度
A	46	0.357	O	25	0.267
B	42	0.212	P	24	0.244
C	41	0.300	Q	23	0.747
D	38	0.274	R	21	0.185
E	38	0.422	S	20	0.577
F	36	0.258	T	19	0.456
G	32	0.123	U	19	0.149
H	32	0.000	V	18	0.122
I	30	0.084	W	17	0.651
J	29	0.237	X	17	0.856
K	28	0.322	Y	16	0.854
L	26	0.624	Z	16	0.658
M	26	0.588	a	14	0.036
N	25	0.200	b	7	0.000

※ここでの、健全度はトンネル全体を評価したものである

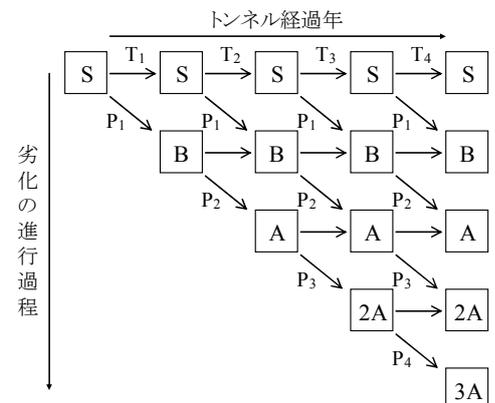


図-1 劣化予測モデル

を示す。P_i は次の判定区分に劣化が進行する確率（遷移確率）、T_i は劣化が進行するのに要する時間（遷移時間）を表す。例えば、判定区分 S のトンネルが時間 T₁、確率 P₁ で判定区分 A に劣化が進行すれば、残りの確率(1-P₁)で劣化は進行せず判定区分 S にとどまることになる。

3.2 遷移確率の設定

遷移確率 P_i は、ひび割れ発生スパンの割合に着目して設定した。詳細調査により得られたひび割れ判定区分 B 以上、A 以上、2A 以上、3A 以上のスパン数が全スパン数に占める割合を B, A, 2A, 3A が発生し得る確率と考え、この値を遷移確率とした。図-2 は A 以上、2A 以上、3A 以上のひび割れ発生割合の頻度分布図を示す。この結果から判定区分 A 以上は 0.45, 2A 以上は 0.25, 3A 以上は 0.1 の割合までひび割れが生じており、この割合を遷移確率 P₂, P₃, P₄ とした。なお、対象トンネルでは判定区分 S, B が存在しないため、遷移確率 P₁ は 0.55 と仮定した。

3.3 劣化予測と考察

上述した遷移確率を用いて、遷移時間 T を 1~10 まで変化させて劣化予測を行った。予測結果を図-3 に示す。縦軸はトンネルの健全度を示し、1.0 が健全度 S, 0.9 : B, 0.8 : A, 0.4 : 2A, 0.0 : 3A に相当する。また図中には、表-2 に示す各トンネルの健全度と経過年数の関係もプロットしている。各トンネルの健全度は、遷移時間 T=6 以下の範囲でばらつくものの、大半は T=2~5 年の範囲に分布している。例えば供用後 16 年で現在の健全度が 0.658 である Z トンネルは、T=3 の劣化曲線に最も適合し、健全度 2A (0.4) まで低下するのにあと 14 年（経過年数 30 年）である。

なお、表-2 の健全度と経過年数の関係がばらつく理由は、過去に補修履歴のあるトンネルがあること、背面空洞、覆工厚、地形、地質、地山の状態などによってもひび割れの発生状況は異なる可能性があることなどが考えられる。

4. 結論

本研究では、各トンネルのひび割れ発生スパンの割合に着目して遷移確率を設定し、マルコフ過程による劣化予測を行い、計 10 パターンの劣化曲線を提案した。予測結果と実際の健全度にはややばらつきは見られるものの、点検データの少ないトンネルの劣化予測手法としては有効であると考え。今後は、さらなるデータの蓄積と地形、地質、背面空洞などのトンネルを取り巻く環境も考慮し、劣化予測の精度を向上させていく必要がある。

【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：道路トンネルの維持管理便覧，1993
- 2) (財)道路保全技術センター：山岳トンネルの劣化予測に関する検討報告書，2007

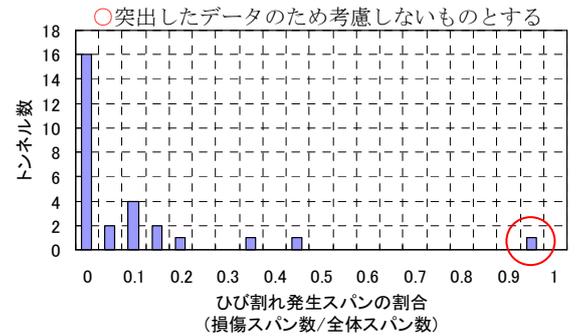


図-2(a) 頻度分布(判定区分 A 以上)

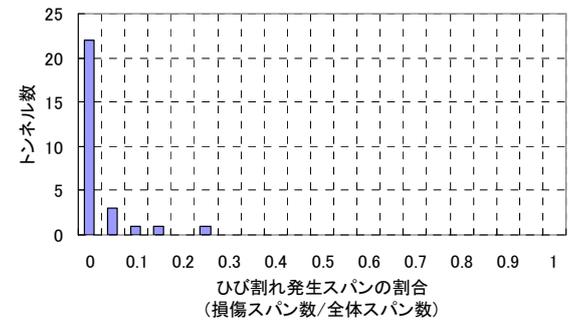


図-2(b) 頻度分布(判定区分 2A 以上)

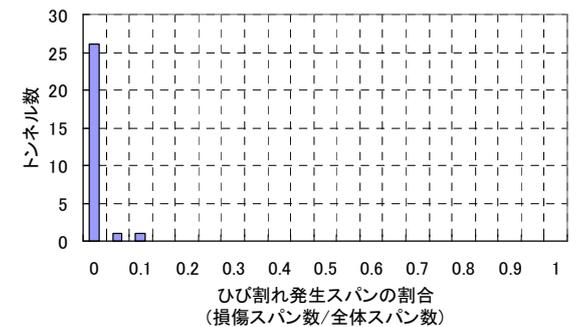


図-2(c) 頻度分布(判定区分 3A 以上)

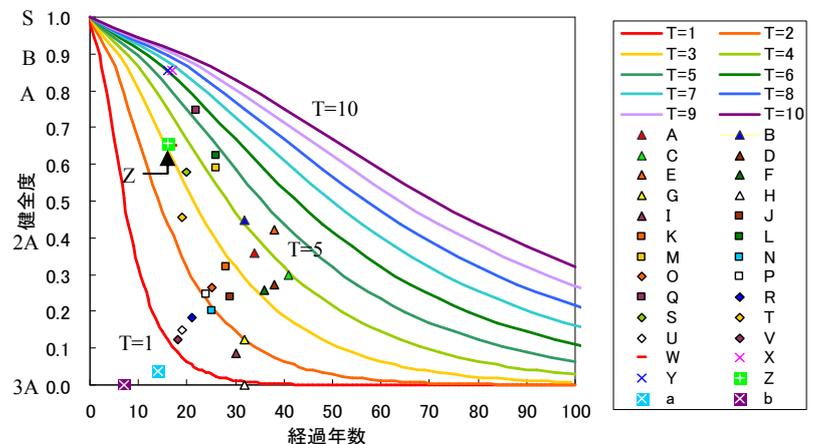


図-3 劣化予測結果及びトンネルの健全度