

道路トンネル補修作業の優先順位の決定手法に関する研究

長崎大学工学部 学生員○ 田中紘馨
長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦

正会員 蔣 宇静
非会員 王 純祥

1. 研究の背景と目的

日本では山地が6割を占める地形的制約から、都市間を結ぶ鉄道・道路はトンネルの割合が高く、また、高度経済成長期には多くの社会資本が整備されていたため、これらの構造物は補修・改修時期が迫っている。本研究では、トンネルの劣化予測を試みるとともに、補修作業の優先順位の決定方法について検討した。

2. 確率論に基づく劣化予測手法について

2.1 計算手法の概要

トンネル施設の劣化の推移過程は不確実であり、将来の状態を確定的に予測することは容易ではない。ここでは、津田らの方法¹⁾に従ってマルコフ推移確率で表現し、二つの調査時刻間における健全度の不確実な推移を表した。トンネルの健全度は、表-1に示すように、その状態に応じて5段階に分けた。

表-1 健全度の評価基準²⁾

健全度	性能	健全状態
1	1.0-0.9	健全で機能的にも問題がない
2	0.9-0.8	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
3	0.8-0.65	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
4	0.65-0.5	変状があり、それらが進行して、早晩通行者・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
5	0.5-0.35	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

2.2 推定結果

本研究では、N県管轄の26本の道路トンネルを取り上げて、漏水に関する詳細調査結果よりトンネルの供用年数に着目して解析を行った²⁾。計算して求めたマルコフ推移確率行列を表-2に示す。また、図-1は、健全度の経年変化を表している。これらの結果から、調査結果に健全度が4以上に判定されたものがなかったために、推移確率の計算結果は1から3までとなっている。健全度の時間変化については、健全度2が維持される推移確率が高いこともあり、健全度が1である期間が短く、健全度2に推移した後の状態が長く続いていたことが分かる。図-1に示す解析結果と調査結果を比較してみると、健全度2の調査結果が広がっており、両者に差がある。これは、健全度2と判定された結果には健全度3に近い調査結果が含まれているためと思われる。

表-2 マルコフ推移確率行列

健全度	1	2	3
1	0.667	0.324	0.009
2	0.000	0.948	0.052
3	0.000	0.000	1.000

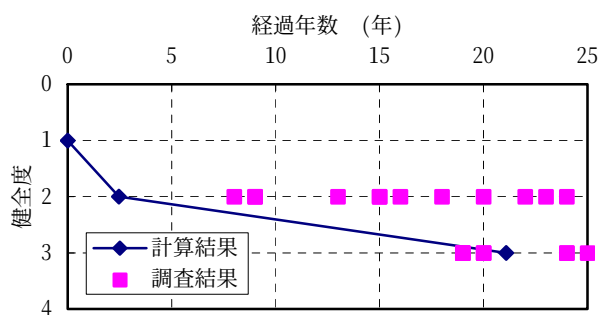


図-1 健全度の経時変化の比較

本研究では、トンネル健全度と、交通量や迂回路の走行時間に着目したトンネル路線の重要度を同時に考慮した手法を取る。具体的内容に対して重み係数を設定し、加重平均法により100点満点で算定した。トンネル健全度（性能）とトンネル重要度から保全更新の優先度(P)を総合的に評価する算定式を以下のように定義する。

$$P = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 \quad (1)$$

ここで、 P_1 はトンネルの総合性能を、 P_2 は路線の重要度を表す。具体的な評価法は文献2)を参照されたい。係数 α_i ($i=1,2$)については、次節に述べるアプローチで決定される。

3. 階層化分析法による重要度の評価

3.1. アンケートの実施

本研究ではトンネルの補修作業に携わる管理者と技術者に対してアンケートを実施した。トンネルの劣化状況と補修作業との関連性を明らかにするために、トンネルの要求性能 (a.安全性能、b.使用性能) に対する劣化現象項目 (ひび割れ、漏水、空洞) の重要度、また、補修作業(c.優先順位)に対する劣化現象項目と交通量、迂回路の走行時間の重要度について、調査項目を設定した。各アンケート項目の評価は9段階に分けており、つまり、同程度に重要 1、やや重要 3、かなり重要 5、非常に重要 7、極めて重要 9 を区分し、その間は補間した。

3.2. 階層化分析法(AHP)

アンケート結果の解析については、一対比較によって2つの評価項目に対する重要度の相対的な値を得ることのできるAHP手法によって行うこととした。この手法では、項目*i*が項目*j*よりどの程度の重要度があるかを定性的に比較した値を $a_{ij}(i, j=1, \dots, p)$ とし、一対比較行列 $A(a_{ij})$ と称し、要素は $a_{ii}=1$ 、 $a_{ij}=1/a_{ji}$ となる。重み w_i は式(2)のように求められる。

$$w_i = g_i / \sum_{j=1}^p g_j ; \quad g_i = \sqrt{a_{i1} \cdot a_{i2} \cdots a_{ip}} \quad (2)$$

3.3 評価と考察

まず、トンネルの要求性能に関する解析結果を表-3、4にまとめた。なお、これらの解析結果の整合度 ($C.I.$) は、a.安全性能において 0.054、また、b.使用性能では 0.027 となっており、得られた回答の整合性は良いと思われる。a.に関しては、空洞に対する重みが最も大きく、他の項目に比べて安全性の管理において重要視されることがわかる。次いで、漏水、ひび割れとなる。b.使用性能においては、漏水の重みが若干大きくなるが、各項目の重みは a.とほぼ同様な傾向にあり、結果的に、安全性能と使用性能に対する劣化項目の重要度は同程度であるといえよう。つぎに、トンネルの補修作業 (c.優先順位) に関する解析結果は表-5に示すように、健全度に関する項目 (ひび割れ、空洞、漏水) の重みは約 0.8、トンネルの重要度に関する項目 (交通量、迂回路の走行時間) の重みは約 0.2 となっている。これらの重み係数を式(1)に代入すれば、保全更新の優先度 (P) がトンネル毎に評価される。

4. まとめ

本研究では、トンネルの劣化現象を確率論に基づいて考察し、漏水、ひび割れ、空洞の劣化推移確率とそれらの経時変化手法を示した。また、補修作業の優先順位の決定に関しては、管理者と技術者を対象としたアンケート調査と階層化分析(AHP)を実施し、健全度と重要度の重み係数の算定法を示した。今後は提案した手法を実トンネルの合理的維持管理に適用していく。

参考文献

- 1) 津田, 貝戸, 青木, 小林: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.69-82, 2005
- 2) 蔣 宇静, 亀崎隆太, 平川昌寛, 棚橋由彦: 道路トンネル維持管理におけるアセットマネジメント手法の適用, トンネル工学論文集, 土木学会, Vol.16, pp.1-10, 2006

表-3 安全性能と劣化現象の重要度

項目	①	②	③	重み
①ひび割れ	1	1/4	1/6	0.082
②漏水	4	1	1/4	0.236
③空洞	6	4	1	0.682

※安全性能とは、耐荷性（施工後の付加外力を含む）、耐震性能、その他の安全性（滑動）を指す。

表-4 使用性能と劣化現象の重要度

項目	①	②	③	重み
①ひび割れ	1	1/8	1/4	0.081
②漏水	8	1	1	0.513
③空洞	4	1	1	0.407

※使用性能とは、道路として必要な内空断面の保持、高い防水性の保持、供用時の機能を満足、路面凍結により走行性能が損なわれないことを指す。

表-5 優先順位と劣化現象の重要度

項目	①	②	③	④	⑤	重み
①交通量	1	1/2	1/3	1/2	1/4	0.072
②ひび割れ	2	1	1/2	1/4	1/6	0.078
③迂回路の走行時間	3	2	1	1/3	1/5	0.124
④漏水	2	4	3	1	1/4	0.217
⑤空洞	4	6	5	4	1	0.509