

道路トンネルのアセットマネジメントにおける劣化曲線の設定について

長崎大学工学部 学生員 〇上川尚孝  
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

長崎大学大学院 学生員 上田 静  
 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦

1.はじめに

日本は山地が多いという地形のため、都市間や地方間を結ぶ道路・鉄道にはトンネルが多く用いられている。また、高度経済成長時に建設された構造物の多くは補修・改修の時期が迫ってきており、その時期に作られたトンネルも例外ではない。しかし土木工事に当てられる費用は年々減少しているため、今後の公共事業の維持管理に当たっては安全性や快適性を確保しつつ、長期的な費用を低減させることが求められており、そのためにいつ、どのような対策を行えば費用を最小化できるかを明らかにする維持管理手法が必要となっている。

本研究ではN県庁管轄トンネルの詳細調査資料の分析に基づき、道路トンネルのアセットマネジメントに必要なとされる劣化曲線の設定法について検討する。それにより現状の性能レベルの評価を行い、道路トンネル維持管理の最適化を目指す。

2.トンネルの性能分析と劣化曲線の設定

2.1 性能分析

トンネルの性能はトンネルの維持管理を行う上で重要な指標であり、ここでは、トンネルが施工されたときで完全に健全であるものの性能を1、完全に劣化したときの性能を0と考えている。

まず、N県庁管轄トンネルの詳細調査資料、補修資料<sup>1)</sup>より26本のトンネルの経過年数と覆工コンクリートの平均一軸圧縮強度の関係を図-1に表す。

また、一軸圧縮強度を性能の評価指標として考えるため、土木工事設計要領において覆工コンクリートが満たすべきとされている一軸圧縮強度18(N/mm<sup>2</sup>)を性能0.4と考えると、各トンネルの性能は図-2のように正規化することができる。

2.2 劣化曲線の設定

一般にトンネルは50年前後で寿命を迎えるといわれているため、今回の劣化曲線は50年までを考えるものとする。まず図-2の中で性能の大きいものを考慮し、劣化の進み方が最も遅いモデルを劣化曲線Aとする。同じように劣化の進み方が最も早いモデルを劣化曲線Cとする。また、劣化曲線Aと劣化曲線Cの平均として作成したモデルを劣化曲線Bとした。以上の3本の劣化曲線と実際のトンネルの性能評価を図-2に示す。

これらの劣化曲線より、トンネルは早ければ30年前後で性能0.4を下回り、平均的に見ても45年前後で0.4以下になる可能性が大と推測できる。また、劣化の進み方の遅い劣化曲線Aと早い劣化曲線Cでは50年で約0.35も性能の大きさに差が生じている。よってトンネルは施工した後において早い段階で調査し、劣化を予測する際にはある程度の幅があることを考慮する必要があると考えら

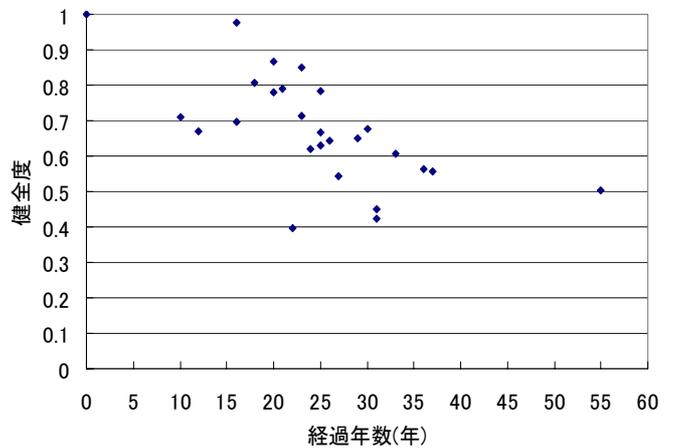


図-1 覆工コンクリートの一軸圧縮強度の経年変化

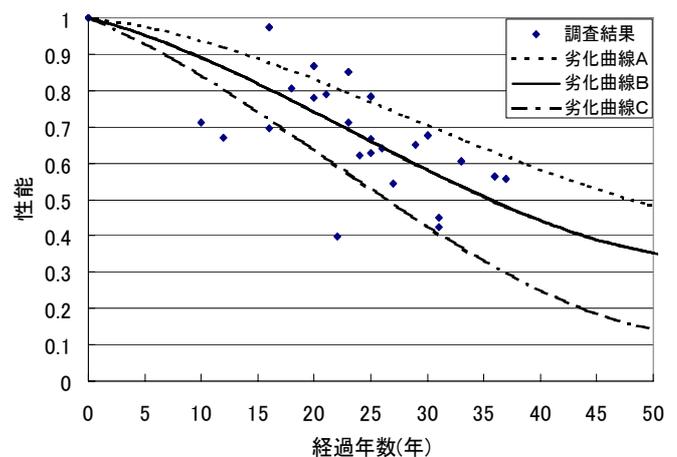


図-2 劣化曲線と実測値との比較

れる。

**2.3 判定区分に対する性能の設定**

判定区分とは標準調査, 詳細調査の結果を対策の緊急度や安全性に与える影響等を基に決定したもので<sup>3)</sup>, 変状, 材料劣化, 漏水などをトンネルのスパンごとに評価する指標となっている。

今回, 道路トンネルの現状の性能を推定するために図-2 における平均曲線である劣化曲線Bを参考にして判定区分に対する性能を決定していく。

まず, 劣化曲線Bにおいて経過年数 50 年で性能は 0.35 となっていることから判定区分 3Aに対する性能の下限を 0.35 と設定する。ここから劣化曲線の形状を考慮して, 決定した判定区分に対する性能の値を表-1 に示す。

**3.マルコフ過程によるトンネルの劣化予測**

前節で設定した劣化曲線A, B, Cでは劣化度合いに幅が生じている。よってトンネルの劣化を予測する際にはある程度の幅を考慮する必要があり, その幅がどの程度の確率で存在するかをマルコフ過程により表していく。

マルコフ過程とは, ある事象から次の事象に推移する確率が, 元の事象以前にどの状態にあったかとは無関係であるという性質をもった確率過程のことである<sup>4)</sup>。ここでは, トンネルの現時点からの劣化過程を確率論の視点からとらえ, 現在の性能から将来の性能を推測することを試みる。今回, 性能を評価したデータを使い, ある期間においてトンネルの性能がiからjに移行する確率を  $P_{ij}$  としてマルコフ過程で解析する。例としてN 県 26 本の道路トンネルを対象とし, 1~5 年間での性能変化の確率を調べたものを表-2 に示す。解析の結果, トンネルの性能が低い値から高い値に上がる不適切な部分があったが, この確率は0になるはずであると考え, それらの値は性能が変わらない確率に加えることとした。

この表を用いることで, 一定期間に対し性能があるレベルからあるレベルまで劣化する確率を事前に把握することが可能である。

**4.おわりに**

本研究は覆工コンクリートの平均一軸圧縮強度の経年変化分析に基づきトンネルの性能評価のための劣化曲線を提案するとともに, トンネルの判定区分と性能との関係を設定した。また, マルコフ過程により劣化曲線における劣化の進み方を確率的に示すことができた。今後はこの劣化曲線とマルコフ過程を用いて個別のトンネル劣化を予測分析し, 合理的維持管理に適用していく。

**【参考文献】**

- 1) 亀崎隆太他：道路トンネル維持管理へのアセットマネジメントの適用に関する研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, III-080, pp.159-160, 2006
- 2) (社)日本道路協会, 道路トンネルの維持管理便覧, 1993
- 3) 安田亨：トンネル構造物の維持管理補修最適化に関する研究, 京都大学学位論文, 2004
- 4) 森村英典, 高橋幸雄：マルコフ解析, 日科技連出版社, pp.5-6, 2000

表-1 判定区分と性能

判定区分	性能	判定の内容
3 A	0.5~0.35	変状が大きく, 通行者・通行車両に対して危険があるため, 直ちになんらかの対策を必要とするもの
2 A	0.65~0.5	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	0.8~0.65	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
B	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
S	1.0~0.9	健全で機能的にも問題がない

表-2 マルコフ過程(1~5 年間)

i \ j	0.800	0.775	0.750	0.725	0.700	0.675	0.650	0.625	0.600	0.575
0.800	0.071	0.048	0.048	0.333	-	0.310	0.143	0.048	-	-
0.775	0.000	0.000	-	-	0.500	-	-	0.500	-	-
0.750	0.000	0.000	0.111	0.389	-	0.278	0.167	0.056	-	-
0.725	0.000	0.000	0.000	0.333	0.182	0.242	-	0.212	0.030	-
0.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.278	0.167	0.222	-	-
0.675	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.635	0.156	0.167	0.042	-
0.650	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	-	-
0.625	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.944	0.056	-
0.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	-
0.575	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

注: 表示 - は実測データがない。