

寒冷地におけるトンネル覆工の劣化遷移に関する一考察

(株)建設技術研究所 正会員 ○禿 和 英
東北工業大学 正会員 須藤 敦史
東北工業大学 前田 智尋
東北工業大学 小山 純平
東北工業大学 森 快斗

1. はじめに

山岳トンネルでは、近接目視や打音検査等の定期点検（2～5年）により覆工コンクリート等の各種損傷を把握し健全度を判定する（表-1参照）。道路管理者では、蓄積された点検データを活用して効率的・効果的な維持管理の立案および実行が求められているが、その情報を有効活用できているとはいえない状況である。

そこで、本論文では、定期点検データと補修・補強などが主な記録であるトンネル保守履歴（管理台帳など）の2つの管理データの有効活用を目的として、トンネル覆

工における劣化評価に用いるそれぞれのデータが、どの劣化現象なのかを定義する。あわせて、点検データと保守履歴情報の双方からトンネル覆工における劣化過程の同定を実施し、各管理データ（定期点検、保守履歴）の活用法について考察する。なお、本論文では、寒冷地（北海道）の山岳トンネルを対象としている。

2. トンネル寿命の定義

山岳トンネルのような道路構造物は、交通量の増加や緊急輸送道路や代替性確保などに伴って構造物としての機能を満足しなくなることがあり、構造物としての要求性能を満足しなくなる。そこで、本論文では、山岳トンネルの寿命を以下のように定義する。

定義1：更新（寿命）とは、山岳トンネルの再建設もしくはごく近くに新設することであり、山岳トンネルの構造部材や車両通行のための要求性能を満足しなくなったときと考える。

定義2：保守（補強、補修）とは、トンネル周辺地山や坑口斜面崩壊等もしくは経年劣化等によって覆工に物理的な損傷が生じ、トンネル構造物の修復が行われたときと考える。

しかし、定義1に示したような山岳トンネルの更新（寿命）事例は非常に少ない。このため、本論文では北海道の国道トンネルにおける覆工コンクリートなどの保守（補修・補強などの修繕）履歴に基づき、生存時間解析を用いて山岳トンネルの劣化過程の同定を試みた。

3. 生存時間解析

生存時間解析²⁾とは、医学・薬学分野において用いられているあるイベントが発生するまでの時間統計(分析)解析である。特にKaplan-Meier法³⁾は、統計データから生存関数を推定するためによく用いられる。

患者 id について、開始時刻 $time1$ から終了時刻 $time2$ まで観測・計測が実施され、終了時刻においてイベントは生存または死亡とする。ここで、観測期間 $time3$ を次式で求めると、患者のデータは id 、 $time3$ イベントで示せる。

$$time3 = time2 - time1$$

(1)

全患者数 j とし、全患者の観測期間 $time3$ のデータ $time3_1, \dots, m$ が集められ順列は以下になる。

$$0 < time31 < \dots < time3m \quad (2)$$

このとき $time3m$ は最大値である。 $time3m$ を除いた半開区間 $[0, time3m]$ は次の半開区間 pi に分割できる。

$$pi = [time3i-1, time3i] \quad i=1, \dots, m \quad (3)$$

ノンパラメトリックな生存時間解析手法としては Kaplan-Meier 法が用いられ、 $time3i$ を t_i とおき、時間 t_j の生存関数 $\hat{S}$ の最尤推定値として次を与える。

$$\hat{S} = \prod_{i|t_i, t_j} \left(\frac{n_i - d_i}{n_i} \right) \quad (4)$$

この(4)式の右辺 $(n_i - d_i)/n_i$ は、期間 pi の生存確率であり、 n_i はサブ期間の患者数、 d_i は期間 pi におけるイベント数（死亡者数）である。

4. 生存時間解析による山岳トンネルの劣化評価

北海道における国道の山岳トンネル覆工（矢板工法：176 本）における維持管理（補修履歴）データを基に生存時間解析の Kaplan-Meier 法を適用し、求められた山岳トンネル覆工における生存曲線を図-1 に示す。図-1 より、供用（経過）年数に伴い生存率曲線は低下しており、供用 30 年頃を境に曲線の勾配がなだらかに遷移している。また供用開始から約 50 年で全山岳トンネルが補修されていると分かる。次に、補修履歴から求めた補修年の供用開始の度数分布を図-2 に示す。図-2 より、補修や補強は供用開始から 26 年～30 年において多く、またその分布の傾向は正規分布を示している。

次に、北海道における山岳トンネル（43 本）の定期点検データの劣化区分値より求めた、トンネルの劣化評価値の平均値と供用（経過）年数の関係を図-3 に示す。図-1、3 より、供用年数とともに劣化が（遷移）進行していることより、山岳トンネルにおける保守履歴を用いた山岳トンネル覆工の劣化遷移は生存時間解析より求められることが分かった。

5. まとめ

寒冷地（北海道）における山岳トンネルの保守履歴に生存時間解析を適用した結果、求められた生存率曲線は基本的に山岳トンネル覆工における劣化特性を表すことができることが分かった。今後、精度・信頼性の向上を図るためには、山岳トンネルの覆工における観察・点検データの蓄積および山岳トンネル管理台帳などの保守履歴の活用が不可欠である。

参考文献

- 1) 道路トンネル定期点検要領：国土交通省 道路局 国道・防災化，平成 31 年 3 月
- 2) 山崎崇央，石田哲也：生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析，土木学会論文集 F4, Vol.71, No.4, pp11-22, 2015.
- 3) 丹後敏郎：統計モデル入門，朝倉書店，246p, 2000.

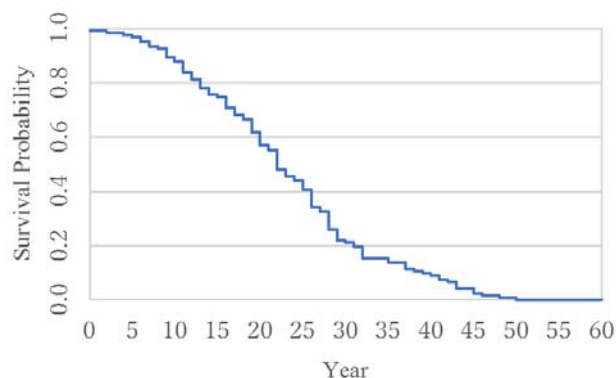


図-1 生存率曲線（矢板工法：176）

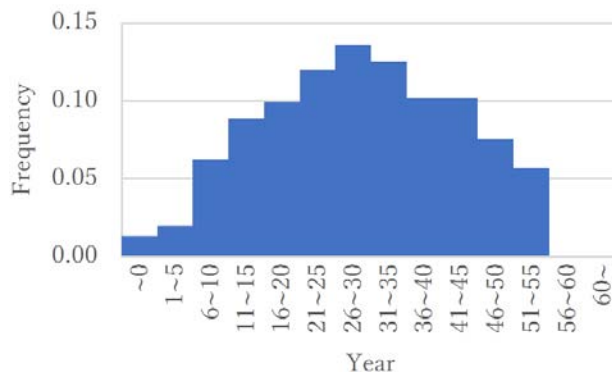


図-2 補修年の分布（矢板工法：176）

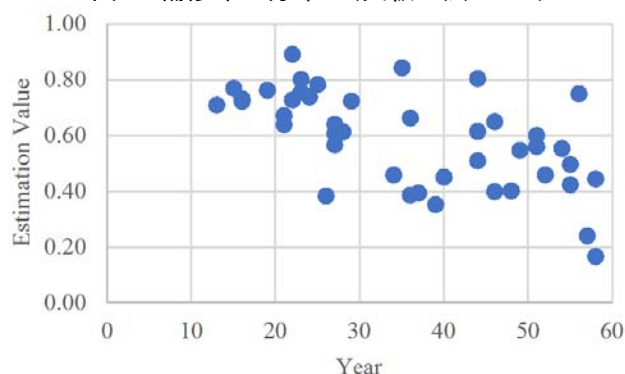


図-3 定期点検より求めた劣化評価値