

確率論的手法によるトンネル覆工コンクリートの劣化予測

○東京都市大学 正会員 丸山 収

東京都市大学 正会員 須藤敦史

(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京

(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明

1. はじめに

山岳部には、住民生活のために多くのトンネルが存在し、ほとんどのトンネルが高度経済成長期に造られた。これらのトンネルを安全に使い続けるためには、トンネルの維持管理を合理的かつ経済的に行わなければならない。本研究では北海道内の山岳トンネルを対象として、供用期間中のトンネル点検データより得られた情報をもとに覆工コンクリートの劣化過程モデルを構築して、劣化予測を行うことを目的としている。

2. 覆工コンクリートの劣化過程の同定

一般的に、山岳トンネルにおける点検項目は①ひび割れ、②浮き・剥離、③漏水、④目地ずれ・開き、⑤豆板・空洞、⑥遊離石灰の6項目が存在する。今回は、劣化度を示す指標として代表的な劣化現象である①ひび割れ、②浮き・剥離の2つを使用する。ひび割れの評価方法を示すと、幅0.3mm以上と0.3mm未満それぞれのひび割れ延長、ひび割れの交点の数(0.3mm以上が関連するものと、0.3mm未満同士の場合とを区別)、またひび割れパターンで場合別される。

次に、トンネルの施工年代と劣化度の関係を求めるためには、覆工コンクリートにおける劣化度の評価値を算出することを行う。ここで覆工コンクリートの劣化評価値は以下の様に、0点を健全として評価点数が大きいほど劣化が進行しているとして算出する。これらの評価は覆工コンクリートのセグメントごとに行われ、トンネル全体の評価値は、それらの平均値として与えられる。

評価値＝区間比×補正係数＋交点数×交点ウェイト

補正係数＝ウェイトⅠ×ウェイトⅡ×打音ウェイト

ウェイトⅠ：変状種類別の係数(重み)

ウェイトⅠ＝ひび割れ長さ×ひび割れパターンウェイト

ウェイトⅡ：発生原因・位置・状態による係数

打音ウェイト：打音検査による係数

3. 点検データの概要¹⁾

北海道内における181ヶ所のトンネルで実施された点検データを劣化度とトンネルの経過年の関係で表したものが図-1である。点検は、1つのトンネルで毎年行っているわけではないため、異なるトンネルでは同じ経過年でも劣化度が異なる。また、トンネルの立地条件などによって風化条件が異なるために同じ経過年でもばらつきが生じる。

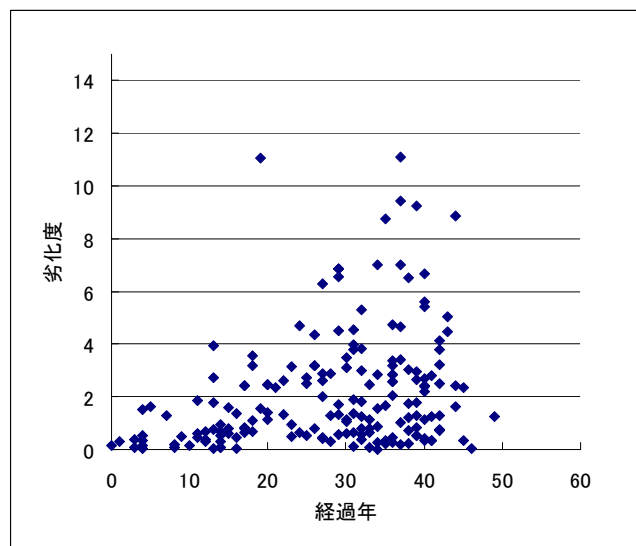


図-1 劣化度とトンネルの経過年の関係

4. 確率微分方程式によるモデル化

覆工コンクリートの劣化度を評価するためには、同一トンネルにおいて、一定期間ごとに、数多くのデータを収集・蓄積する必要がある。しかし、実際に多くの点検データより覆工コンクリートの経年劣化の推移過程として求めた事例がないのが現状である。したがって、実施されているトンネル覆工コンクリートの点検データに基づいて覆工コンクリートの劣化予測を確率・統計的手法を用いて行うことが本研究の目的である。

本研究ではトンネル覆工コンクリートの劣化状態は、

キーワード： トンネル覆工コンクリート、健全度評価、確率微分方程式、最尤法

連絡先：〒158-8557 世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-5707-0104, E-mail:omaruya@tcu.ac.jp

確率過程を用いて表現することができると仮定する。
トンネル覆工コンクリートの健全度低下モデルとして幾何学的ブラウン運動を表現する式(1)を用いる。

$$dX(t) = \beta X(t)dt + \sigma X(t)dW_1(t) \quad (1)$$

ここに β は平均劣化率(トレンド), σ は自然的劣化の分散の程度を表すパラメータ(ボラティリティ)である。ここで $\beta \cdot \sigma$ は最尤法²⁾により求めることができる。 $W_1(t)$ はウィナー過程であり, ① $W_1(t)$ は連続であり $W_1(0)=0$ である。② $W_1(t)$ は正規分布 $N(0,t)$ に従う。③ 増分 $W_1(s+t)-W_1(s)$ は正規分布 $N(0,t)$ に従い, 時刻 s までの $W_1(t)$ の履歴とは独立である(マルコフ過程)³⁾ という3つの性質を満足すると仮定する。幾何ブラウン運動である式(1)の $X(t)$ は, $\log X(t)$ なる変換により, 算術ブラウン運動となる。したがって $\log X(t)$ はガウス過程となりその平均と分散はそれぞれ $(\beta - \sigma^2/2)t$, $\sigma^2 t$ として与えられる。

本研究では式(1)のパラメータを求めるために, 区間定常性を仮定して中心年である n 年を中心に, $n \pm 5$ 年のデータをもとに最尤法により計算を行った。

図-2には30年のデータを中心として $n \pm 5$ 年のデータをもとに最尤法により求められた $\beta = 0.0332$, $\sigma = 0.0395$ により30個のサンプルをシミュレーションした結果と観測値を示している。得られた結果において, 複数のトンネルの点検結果を用いていることが, ボラティリティ(分散)の推定に影響して, 変動が大きくなっている。その結果, 全体的な傾向はモデル化出来ているが強度の回復現象がみられる。また図-3には, 100回のシミュレーションによる30年目の劣化サンプル実現値のヒストグラムを示している。式(1)の幾何ブラウン運動 $X(t)$ 自体は時変型の対数正規分布に従うということを, 計算結果からも確認出来る。同様に図-4は40年のデータを中心として最尤法により求められた $\beta = 0.0288$, $\sigma = 0.0282$ を用いたシミュレーション結果である。

5. まとめ

本報告は, 覆工コンクリートの劣化評価データから確率微分方程式のパラメータを推定し, 得られた予測式を用いてサンプル実現値をシミュレートして, 観測データとの比較を行った。現状ではトンネル群のデータを用いて計算を行っているが, 特定のトンネルの限

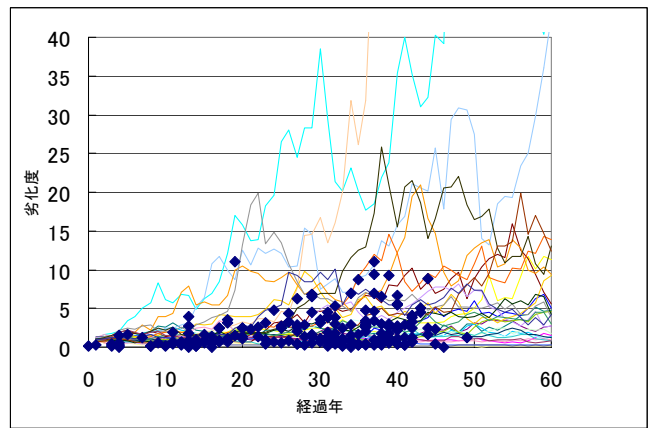


図-2 30年のデータを中心としたシミュレーション

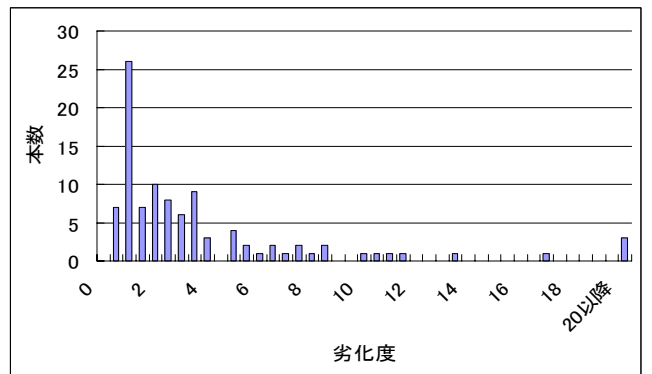


図-3 30年中心 30年

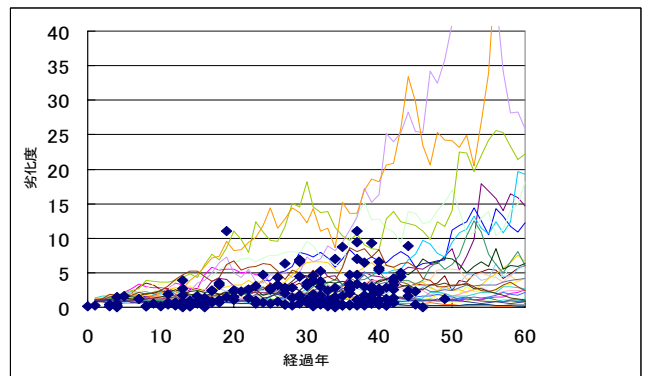


図-4 40年のデータを中心としたシミュレーション

られた観測データによる予測式構築のために条件付情報更新理論の適用を行い, 次段階として一般的に用いられているマルコフ推移行列の定量的な評価を行う。計算結果の整理にあたり, 倉田雅史君(現: セントラルコンサルタント)の協力を得た。

6. 参考文献

- 1) 須藤敦史, 三上隆, 岡田正之, 川村浩二, 角谷俊次: 寒冷地トンネルの長寿命化に関する基礎検討-二次覆工コンクリートの挙動観測から-, 第17回ふゆトピア, 2005, 2.