

全般検査結果を用いた地下鉄トンネルリスク評価のための総合指標の検討

産業能率大学

福中公輔

東京地下鉄 正会員

小西真治

東京地下鉄 正会員

川上幸一

東京地下鉄 正会員○

村上哲哉

東京地下鉄

三浦孝智

東京地下鉄 正会員

篠崎真澄

1. 目的

東京メトロは9路線 195.4km（うちトンネル 166.5km）で運行し1日 672 万人のお客様にご利用いただいている。お客様の安全を確保するため、2 年毎の通常全般検査と 20 年毎の特別全般検査を実施し、各位置の健全度の評価と補修の計画を策定している。しかし、これらの検査結果は、判定基準はあるものの、検査年度の違いや、検査状況の違い、路線の違いによりバラツキがあるのも事実である。経年による状態の変化や路線の比較を行うには、このバラツキを考慮し、同じ土俵で比較する必要がある。このようなことから、膨大な検査データを統計処理し、相互に比較可能な維持管理を行うための総合指標である特性値 θ の算出を検討したので報告する。

2. 検討の概要

検討にはある路線の通常全般検査の健全度評価結果のデータを用いた。これらは鉄道構造物維持管理標準¹⁾に示されている、AA, A1, A2, B, C, S の6 段階のデータとなっている。まず、15 項目（ひび割れ[左側壁, 上床, 右側壁], 漏水[左側壁, 上床, 右側壁], 浮き・はく離[左側壁, 上床, 右側壁], 鋼材劣化[左側壁, 上床, 右側壁], コールドジョイント, 初期変状, その他)の変状について、補修の必要性があるか無いかの観点で再整理した。すなわち AA, A1, A2, B, S が補修ありで 1 点, C が健全と判断し 0 点と定め、2 値の値に数量化を行った。なお、通常、健全なものを S とするが、東京メトロではすべての変状毎に判定するため、変状のない位置を定義しにくいので、補修工事を済ませた変状箇所を S というランク付けしている。この場所は、変状に対して、何らかの原因を持っており、また、再劣化の可能性が高いため 1 点とした。次に、トンネルを路線方向に 5m 毎の仮想メッシュに区切って、各メッシュで変状ごとに点数を合計し、この点数が 1 点以上の場合を 1, 0 点の場合を 0 に再カテゴリー化した。数量化の例を表 1 に示す。

次に、各変状の観測確率 P_{ij} と特性値 θ_i の関係を式 1 で示す 2 母数ロジスティックモデルで表現した。ここで j は変数の数を、 i はオブザベーション数を表している。

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(-a_j(\theta_i - b_j))} \tag{1}$$

またパラメータ a_j は関数の右上がりの上昇具合を表し、変状観測の閾値の明確さを表している。パラメータ b_j は関数を左右に移動させるもので、変状の観測されやすさを表していると考えられる。維持管理のための特性値 θ は構造物の劣化を表すと考えられるので、ガンマ分布を仮定した。

表 1 健全度の数量化の例

キロ程	ひび 左	ひび 上	ひび 右	漏水 左	漏水 上	漏水 右	浮き・ はく離 左	浮き・ はく離 上	浮き・ はく離 右	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...
0k05m	1	0	1	0	0	1	0	0	1	...
0k10m	1	1	0	1	0	1	1	0	0	...
0k15m	0	1	0	1	0	1	0	0	0	...
0k20m	0	1	0	0	1	1	0	1	0	...
0k25m	1	1	0	0	0	1	0	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

キーワード 地下鉄, トンネル, 維持管理指標, ベイズ推定, MCMC, 検査項目反応モデル

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄(株) 工務部土木課 TEL 03-3837-8086

トンネルの維持管理指標を算出するためのこのモデルを検査項目反応モデル (inspection item response model; IIRM) と呼称し、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を使用したベイズ推定によりパラメータの推定を行った²⁾。なお、ベイズ推定を行うにあたり、 a_j には対数正規分布を、 b_j にはガンマ分布を事前分布とし、JAGS を利用して推定を行った。IIRM を利用することで、検査項目特有の性質を a_j や b_j の影響として除外した上で特性値 θ を算出できるため、同じ基準で評価ができる総合指標になると考えられる。

3. 結果

ある通常全般検査の結果に IIRM を適用して算出した特性値 θ の値を、キロ程ごとにプロットしたものを図 1 に示す。また図 2 にはその特性値 θ の要約統計量とヒストグラムを示す。なお、MCMC の収束判定には Geweke の指標を用い、おおむね良い収束状況を示していたことを確認している。

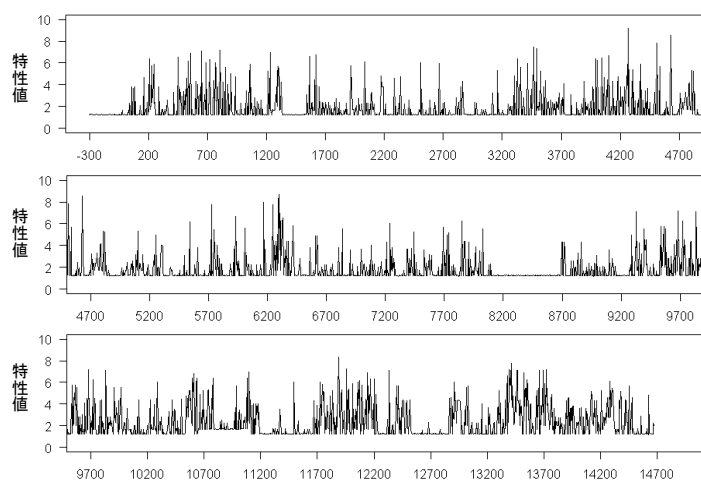


図 1 特性値 θ のキロ程に対する分布

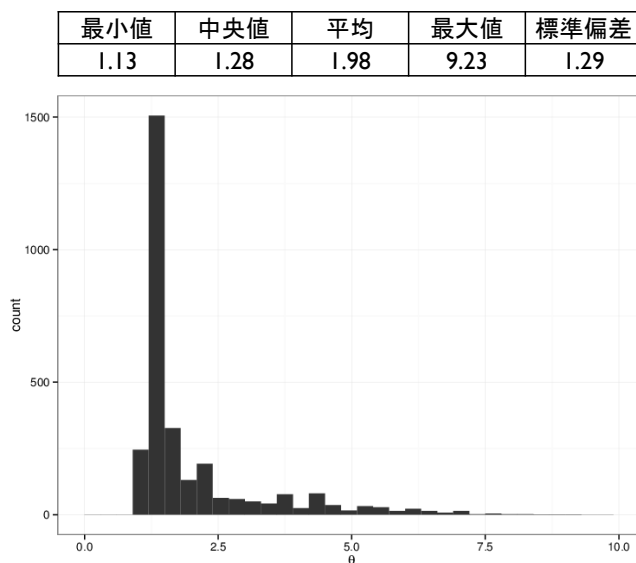


図 2 特性値 θ の性質

図 2 を見るとわかるように、特性値 θ の値が低い安全な箇所が多く、 θ が高くなるにつれその数が急激に減少するというガンマ分布の傾向を示した性質として推定されていることがわかる。また、特性値 θ は検査項目や測定部位特有の性質を除外して推定されているので、図 1 にはより純粋なリスクが現れていると考えられる。

5. まとめ

通常全般検査データを統計処理し、検査状況の違いを除外したリスク評価のための総合指標を検討した。その結果、統計学から見たリスクが高い区間を特定できた。これにより、違う路線や違う年度の検査結果を同じ土俵で評価でき、東京メトロ全路線の劣化の状況や補修の優先順位等を同じレベルで検討することができると考えられる。しかし、今回は、統計学的見地から検討したのみであるため、今後は、再度、各区間を調査し、工学的な判断とどの程度一致するか検証する予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総研：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，国土交通省鉄道局監修，丸善，2007
- 2) Fox, J.P. : Bayesian Item Response Modeling: Theory and Applications (Statistics for Social and Behavioral Sciences), Springer, 2010