

地下鉄トンネル検査結果を用いた維持管理指標の妥当性の検証

東京地下鉄 正会員 ○田口真澄 東京地下鉄 正会員 榎谷祐輝

東京地下鉄 正会員 川上幸一 東京地下鉄 正会員 三浦孝智

東京地下鉄 正会員 村上哲哉 産業能率大学 非会員 福中公輔

1. 目的

東京メトロでは、トンネル検査データを統計処理し、区間における非健全度を定量的に示す維持管理指標を開発した^{1) 2)}。今回、その妥当性について検証をし、得られた結果について述べる。

2. 維持管理指標とは

既往の報告の通り、維持管理指標とは位置を示す起点からの延長（以下、キロ程という）を一定区間ごとに区切り、その区間における各変状が観測される確率を規定する指標であり、構造物の非健全度を表す指標 θ として定義した²⁾。

この θ は、検査項目反応モデルという数理モデルを構築し、マルコフ連鎖モンテカルロ法を利用したベイズ推定により算出した。参考として、平成 26 年度路線 A について推定した θ の値をキロ程ごとにプロットしたものを図 1 に示す。

3. 妥当性の検証

θ の実務での運用にあたり、維持管理指標がトンネルの潜在的な非健全性をどの程度の確に示しているかを検証する必要がある。そこで、実際の検査に携わっている検査員の当該構造物に対する非健全性の認識度を尺度とし、非健全度指標 θ との対応関係について明らかにすることとした。

3. 1 検証方法

トンネルからある特定の区間 2 箇所 (i と j) を取り出し、比較する。このとき i が j より非健全であると認識される確率を P_{ij} とし、各区間の非健全性の程度を α_i, α_j で表すと以下のようにモデル化できる。

$$P_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \alpha_j} \quad (i \neq j) \quad (1)$$

ここで $\lambda = \log(\alpha)$ とおき、上式を以下のように変

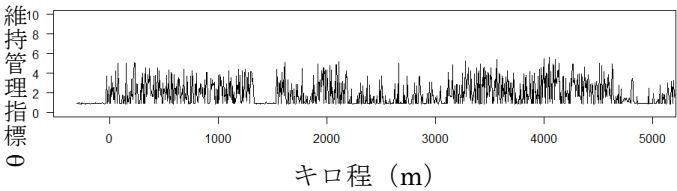


図 1 各キロ程の維持管理指標 θ の分布



図 2 変状調書

形する。

$$\text{logit}(P_{ij}) = \lambda_i - \lambda_j \quad (2)$$

このように一般化線形モデルの形になるので、 λ をパラメータとして最尤推定し、検査者の構造物に対する非健全性の認識を表す指標として算出した³⁾。

3. 2 検証手順

変状調書の見方に習熟した社員 37 名 (現場検査者) に対して一対比較実験を行った。なお、トンネルの特定の区間の非健全性を比較するための実験用試料は、平成 24 年度特別全般検査および平成 26 年度通常全般検査の結果の変状調書を用いて作成した。変状調書とは図 2 に示す通り、トンネル検査時の写真や判定結果が示された調書である。具体的な手順は以下の通りである。

Step 1 互いに比較するキロ程区間 9 箇所を抽出し、それぞれ記号をつける。抽出にあたり、 θ の値が 1 以上 7 未満の範囲で取り上げ、駅

ホームのような特殊な箇所や、補修跡がある箇所は除外した。

Step 2 被験者を a, b 二つのグループに分け、抽出したキロ程区間のうち5箇所を割り当てる。

Step 3 被験者個人で、割り当てた5箇所の区間における変状調書を一対比較し、土木構造物としての非健全性の判断を行う。

このときグループ間で共通の試料を用意することで、全9箇所の順位付けを最終的に1次元で行うことができる。

3. 3 検証結果

θ と一対比較のリスク評価の差を図3に示す。一対比較として表記されている数値は、(2)式の数理モデルによる分析の結果から算出された λ であり、その値が高いほど現場の検査者が不健全であると判断している。検査項目反応モデルにより算出された θ の順序と現場検査者37名の判断は、おおむね一致していることが明らかとなった。ただし、調書記号「A」のように θ の値が1.578と最も低いにもかかわらず、現場検査者は高リスクと判断し、順序が変動する結果を示す箇所も存在した。

3. 4 考察

変状調書「A」の変状は以下の通りである。

- ・上床のはく離・浮き A2
- ・左ハンチのはく離 A2

はく離・浮きははく落事故につながる変状であり、それぞれが上床およびそれに近い位置に存在する。つまり、日常的に検査に携わる現場検査者は列車運行への影響を第一に考え、上床のはく離などの変状は危険性が高いと評価する傾向にあることが調査後のヒアリングにより得られた。

一方、検査項目反応モデルにおける θ の算出は、はく離自体は構造上の危険性はないため、はく離を分析上の検査項目から除外している。ゆえに、 θ の値自体は小さく推定されたと考えられる。

検査項目反応モデルによる θ の評価は、構造物そのものの非健全度を評価したものであり、列車の運

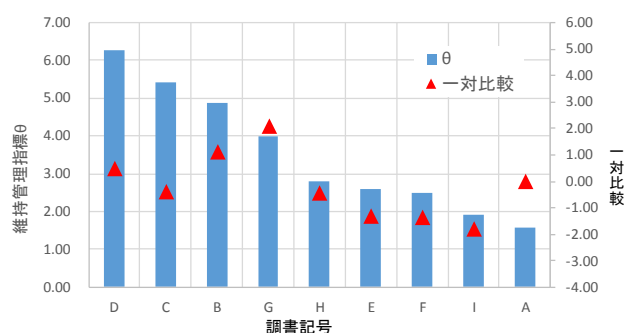


図3 θ と一対比較によるリスク評価結果

行への支障の有無に特定した指標ではない。そのため、上床も側壁も同じリスクと捉えて計算する。したがって、中長期的観点からは θ による評価がより的確に構造物の健全性を表現すると考えられるが、短期的観点では θ の値が必ずしも列車運行への支障をきたすようなリスクを表しているとは限らない。 θ と検査員による検査のそれぞれの特徴を理解した上で、その結果を使い分けることが必要と考えられる。

4. まとめ

検査データを統計的に解析して算出した非健全度指標 θ を、現場検査者のトンネルに対する非健全性の認識度と比較することにより妥当性を検証した。その結果、算出した非健全度指標 θ の順序と現場検査者の判断の順序は、おおむね一致していることが明らかとなった。これにより、検査項目反応モデルにより算出した θ に妥当性のあることが示唆されたと考えられる。今後は、さらなる一般化が可能となるように、複数路線や他年度での検証を進める予定である。

参考文献

- 1) 村上ら: 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, 土木学会第70回年次学術講演会, VI-344, 2015-9.
- 2) 篠崎ら: 地下鉄トンネルの全般検査データによる維持管理指標の研究(報告), 土木学会トンネル工学報告集, 第25巻, IV-1, 2015.11
- 3) Turner, H. & Firth, D. (2012) Bradley-Terry Models in R: The Bradley Terry 2 Package. Journal of Statistical Software, 48, 1~21