

統計分析による地下鉄トンネル打音点検箇所のスクリーニング

東京地下鉄(株) 非会員 榎谷 祐輝 東京地下鉄(株) 正会員 石川 幸宏

北海道大学 正会員 湧田 雄基 北海道大学 非会員 小山 元希

東京地下鉄(株) 正会員 ○諸橋 由治 東京地下鉄(株) 正会員 小西 真治

1. はじめに

地下鉄の大部分を占めるトンネルにおいて、コンクリートや補修モルタルのはく離（浮き）は、はく落（図-1）により運行支障をきたす恐れのある注意すべき変状の一つである．そのため、東京地下鉄では、はく落を未然に防止するため、全般検査とは別に4年に1回自主的に打音点検を行っている．この打音点検は、移動式足場を組んで打音し、必要に応じてはく離除去を行うものであり（図-2）、人的リソースを多く要する業務である．一方で、地下鉄トンネル維持管理においては、作業時間が終電から始発までの僅かな時間（図-3）であることから、打音点検業務の効率化が求められていた．効率化の一手法として、統計分析によるはく離（浮き）箇所の推定を行い、この結果を用いた打音区間のスクリーニングの試行結果について報告する．

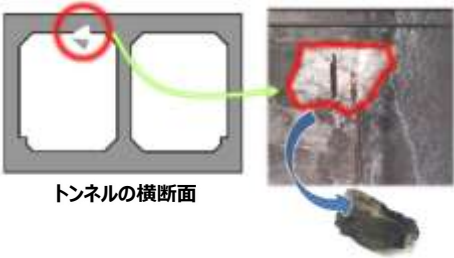


図-1 トンネル上床におけるはく落発生イメージ



図-2 打音点検の様子

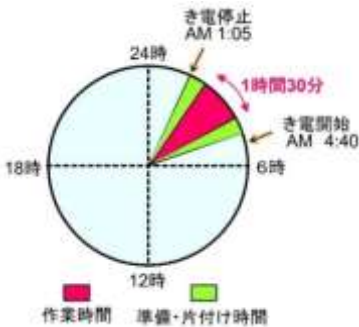


図-3 点検作業が可能な時間

2. 対象データ

全般検査の記録の他、構造諸元、環境諸元 等から 50 以上の項目を抽出し、分析対象データとした（表-1）．これらに対し、データクレンジング、調製、変数選択を行った．なお、変数選択にあたっては、VIF（分散拡大係数）等の指数の他、打音点検実施者などの技術者の意見を取り入れた．

3. 分析手法

本研究では、分析手法として、多変量解析の一手法である線形判別分析を用いた．トンネル上床のはく離（浮き）変状の有無を目的変数とし、全般検査結果や構造形式等の各種データを説明変数として線形判別分析により推定モデルの構築を行った．本手法の特徴としては、変数毎の偏回帰係数を確認することで、判別への変数毎の影響を確認できる点が挙げられる．この影響を確認することで、現場の知見等に照らし、作成した推定モデルの納得性について議論することが可能な点より、本手法を選定した．

表-1 分析に用いたデータ例

データ種別	項目数	変数名
諸/施工	6 項目	工法，軌道敷設材質，線形曲率，線形勾配，竣工年，100m あたり工事日数
環境	8 項目	近接施工，地質(上部/中部/下部)，異高型，構造変化点，工区変化点，感潮河川離隔距離，河川下，土被
検査/点検	39 項目	上床・中壁・側壁の変状 13 種※の件数 ※はく離・はく落系変状，コールドジョイント，ジャンカ，亀甲状ひび割れ，塗装劣化，斜めひび割れ，枝状ひび割れ，格子状ひび割れ，横断ひび割れ，水平ひび割れ，漏水系変状，縦断ひび割れ，鉄部腐食

キーワード 地下鉄, トンネル, 維持管理, 線形判別分析, 変状予測

連絡先〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄株式会社 工務部土木課 TEL 03-3837-7230

4. 分析結果

上床はく離はく落系変状の有無の推定結果は、トンネル長手方向の距離を示す「キロ程」に基づき 5 m 毎に算出している（図-4）。分析結果の性能は、交差検定（5 分割）を行い評価した。ROC 曲線の下側面積「AUROC」値は 0.72 であり、推定は有効であることが確認できた。

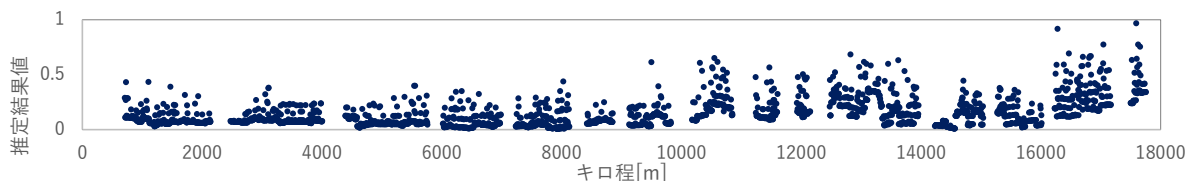


図-4 上床はく離・はく落系変状有無の推定結果値の路線に沿ったプロット例

5. 実務における運用

本研究では、推定結果に基づいて打音点検実施区間の特定する「スクリーニング」技術として、実務での運用化を進めた。対象となるモデル路線を選定し、その路線に対して、打音点検箇所のスクリーニングを実施した。

打音点検は、トンネル内にて足場を移動させながら、端から端まで全区間に渡り実施している。従って、推定結果が算出される 5 m の粒度でスクリーニング結果を求め、点検の実施区間を指定したとしても、トータルの作業延長は変わらず、業務の効率化に繋がりにくい。この課題を解決するために、推定結果の値を 50 m と半駅区間などの複数の区間で集計し、それぞれの結果を混合した結果を算出した。次に、この集計結果から、打音を行う区間の仮選定を実施した。この処理としては、まず、集計区間の延長距離の長い「半駅区間」の集計結果において Positive（リスク高）となった区間を打音点検区間として仮採用した。他方で、Negative（リスク低）となった区間について、集計区間延長距離の短い「50 m 区間」の集計結果が Positive となった区間を打音点検区間として採用した（図-4）。

さらに、仮選定した区間に、直近の全般検査でのはく離（浮き）の有無を確認するとともに、一般的な区間より変状の進行が速いとされる塩害区間が排除されていないことなどを確認し、最終的に打音区間としての選定を行った（図-5）。その結果、モデル路線では全区間に対して約半数を打音点検実施区間としてスクリーニングを実現した。

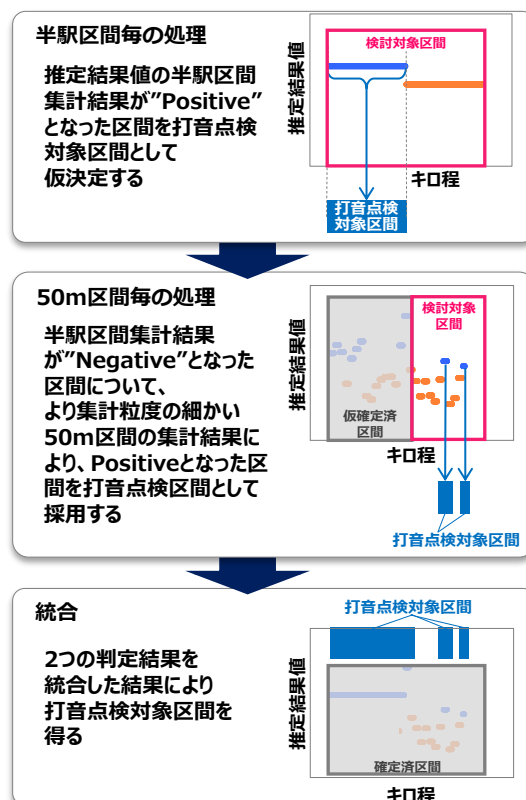


図-4 打音点検区間のスクリーニング処理



図-5 打音点検区間のスクリーニング結果

6. まとめ

今回、打音点検区間のスクリーニングのため線形判別分析を用いて分析を実施した。その結果、モデル路線では全区間に対して約半数の区間をスクリーニングでき業務効率化を実現した。本分析の妥当性として、2020年度の打音点検にて記録したはく離（浮き）のうち約9割を検出できたことを確認した。また、打音点検は、今回の打音点検では、はく落に関する判定α箇所は確認されなかった。このことから、当社の様な地下鉄の環境下においては4年で急激な進行は見られないことも確認できた。本研究の取組みにより、実務における統計分析の応用として、業務貢献の可能性を確認することができた。今後は、本手法を他路線に展開していきたい。