

特別全般検査データを用いた地下鉄トンネル上床の変状発生予測に関する分析

東京大学 正会員○ 安達慎一 東京大学 正会員 湧田雄基
 東京大学 正会員 石川雄章 東京地下鉄 正会員 田口真澄
 東京地下鉄 正会員 三浦孝智 東京地下鉄 正会員 小西真治

1. 目的

東京地下鉄では、全トンネル区間 166.5km に関する各種データから変状発生状況を把握し長期的な保全計画に反映させることを目指した取り組みを行っている。今般、その取り組みの一つとして、ある 1 路線（延長約 16km）の特別全般検査結果（変状データ）、構造諸元、環境条件等を用いた重回帰分析により、はく離・はく落の発生予測を試みたので報告する。

2. 分析に用いたデータの概要

(1) 変状データ

分析に用いる変状データは、平成 26 年度に実施した特別全般検査結果（目視・打音結果）とし、このうち、上床のはく離・はく落系の変状（はく落・はつり跡、亀甲状ひび割れ、鉄筋露出、はく離・浮き、補修跡のはく離・浮き、補修跡）を分析対象とすることとした。

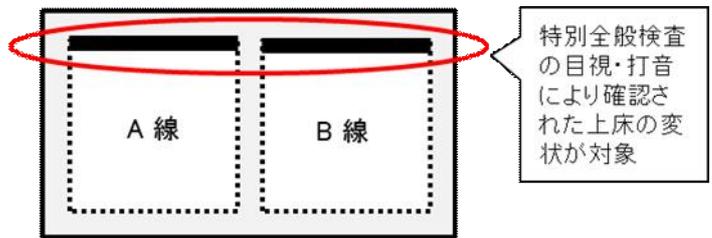


図-1 分析対象とした変状データ

なお、変状データとしては、側壁部分についても保有しているが、利用者被害への懸念を重視し、より被害に直結すると考えられる上床部分を対象とした。

(2) 諸元データ及び環境条件データ

構造諸元データ、環境条件データは、区間種別（駅／駅間）、工法（開削／開削以外）、竣工年、線形半径、線形勾配、構築上土被り、軌道敷設材質（コンクリート／バラスト）、防水施工の有無、100m あたり工事日数、近接施工の有無、水涯線¹⁾までの距離（当該変状発生位置のから海岸線又は感潮河川までの距離）とした。

3. 分析に用いたデータセットの調製

変状データは、変状一つひとつが 1 レコード（エクセル上では 1 変状 1 行）となっている。分析にあたり、はく離・はく落のキロ程方向の位置ごとの変状発生を表現する形式とするため、キロ程 5m あたりの変状数に変換した。

また、構造諸元データ、環境条件データについても、変状データと同様に 5m あたりの値（又は属性）とした。

表-1 調製したデータセット

目的変数	説明変数									
Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
5mあたりの変状数	区間種別	工法	軌道敷設材質	線形半径	線形勾配	構築上土被り	水涯線までの距離	防水施工の有無	100mあたりの工事日数	近接施工の有無
数値	駅0 駅間1	非開削0 開削1	バラスト0 コンクリ1	300m未満1 1,000m未満2 1,000m以上3	数値	数値	50m未満1 400m未満2 400m以上3	あり0 無し1	数値	無し0 あり1
0	1	1	0	2	15	3.49	2	0	120	0
4	1	1	0	2	15	3.52	2	0	120	0
1	1	1	0	2	15	3.60	2	0	120	0
...

5mピッチに調製 (3.147レコード)

キーワード 地下鉄, トンネル, 維持管理, はく離・はく落, 重回帰分析

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 大学院情報学環 TEL 03-5841-1070

4. 重回帰分析の実施ケース

重回帰分析は、目的変数を5mあたりの変状数、説明変数を5mあたりの構造諸元や環境条件として実施した。実施ケースは、表-2に示す14ケースであり、工法や軌道敷設材質等によりデータを分割して行っている。これは、構造諸元や環境条件等の全データ項目を包括したデータセットによる重回帰分析では有用な結果が得られないと想定したためである。

5. 重回帰分析結果の例示（相関が見られた2つのケース）

(1) ケース3：軌道敷設材質がバラストの区間

軌道敷設材質がバラストの区間のデータを用いた重回帰分析を行ったところ、式①（重相関係数 $r=0.687$ ）を得た。この式より、バラスト区間では、特に水涯線までの距離が近いほど変状数が多くなる傾向にあることが示唆された。

$$\hat{Y} = 0.162X_5 - 0.547X_6 - 5.821X_7 + 3.039X_8 + 16.862 \quad \dots \text{式①}$$

表-3 変数の定義とアウトプット(式①に対応)

区分	変数の定義		アウトプット	
	変数の内容	入力値	係数	偏相関係数
目的変数	Y	5mあたり変状数	—	—
	X ₁	区間種別	駅:0/駅間:1	—
説明変数	X ₂	工法	非開削:0/開削:1	—
	X ₃	軌道敷設材質	(バラスト)	—
	X ₄	線形半径(100/線形半径[m])	300m未満:1 1,000m未満:2 1,000m以上:3	—
	X ₅	線形勾配[%]	数値	0.162
	X ₆	構築上土被り	数値	-0.547
	X ₇	水涯線までの距離[m]	50m未満:1 400m未満:2 400m以上:3	-5.821
	X ₈	防水施工の有無	あり:0/無し:1	3.039
	X ₉	100mあたり工事日数[日]	数値	0.280
	X ₁₀	近接施工の有無	無し:0/あり:1	—
	切片	重回帰式のY切片	—	16.862

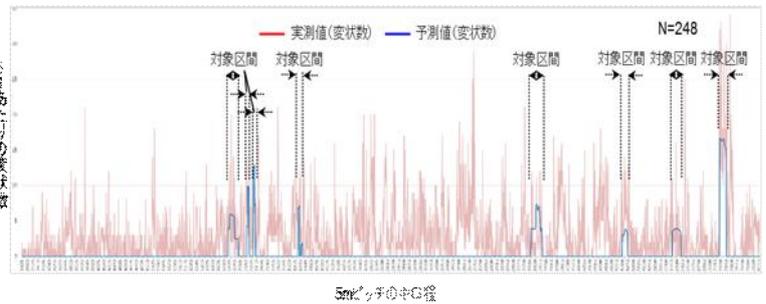


図-2 実測値と式①による予測値との変状数の比較

(2) ケース8：水涯線までの距離が50m未満の区間

水涯線までの距離が50m未満の区間のデータを用いた重回帰分析を行ったところ、式②（重相関係数 $r=0.801$ ）を得た。この式より、水涯線までの距離が50m未満の区間では、特に工法が開削、防水施工が無いといった条件の場合に変状数が多くなる傾向にあることが示唆された。

$$\hat{Y} = 11.508X_2 - 3.685X_3 + 12.681X_8 - 5.385 \quad \dots \text{式②}$$

表-4 変数の定義とアウトプット(式②に対応)

区分	変数の定義		アウトプット	
	変数の内容	入力値	係数	偏相関係数
目的変数	Y	5mあたり変状数	—	—
	X ₁	区間種別	駅:0/駅間:1	—
説明変数	X ₂	工法	非開削:0/開削:1	11.508
	X ₃	軌道敷設材質	バラスト:0/コンクリ:1	-3.685
	X ₄	線形半径(100/線形半径[m])	300m未満:1 1,000m未満:2 1,000m以上:3	—
	X ₅	線形勾配[%]	数値	—
	X ₆	構築上土被り	数値	—
	X ₇	水涯線までの距離[m]	(50m未満)	—
	X ₈	防水施工の有無	あり:0/無し:1	12.681
	X ₉	100mあたり工事日数[日]	数値	—
	X ₁₀	近接施工の有無	無し:0/あり:1	—
	切片	重回帰式のY切片	—	-5.385

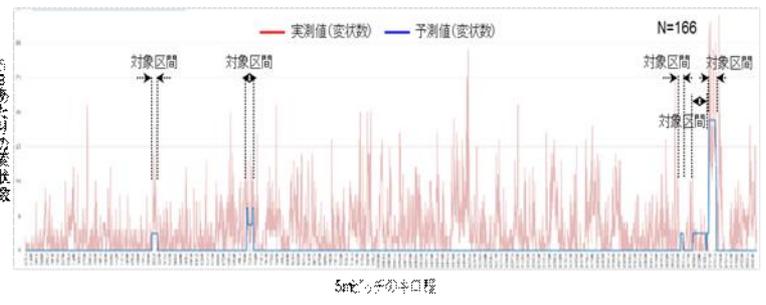


図-3 実測値と式②による予測値との変状数の比較

6. まとめ

本検討では、ある1路線での変状データ、構造諸元データ、環境条件データから、限定的な条件下ではあるものの路線内における上床のはく離・はく落の発生予測式を得ることができた。

一方、本検討の先には、トンネルの変状箇所の見落としの防止、点検の確実性の向上、点検業務の効率化等を見据えており、今後、本検討成果を検査や補修といった実務へ落とし込んでいくことを考えていくあたり、実際に現場に赴く点検者からの意見収集（納得感が得られるか）、他の路線データを用いた検証等からの裏打ちも必要となってくるものとする。

参考文献 1) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報サイト <http://www.gsi.go.jp/kiba>