

重回帰分析に基づく地下鉄トンネル上床のはく離・はく落発生要注意区間の推定

東京大学 正会員 ○湧田 雄基
 東京大学 正会員 石川 雄章
 パシフィックコンサルタンツ株式会社
 正会員 安達 慎一

東京地下鉄株式会社 三浦 孝智
 東京地下鉄株式会社 榎谷 祐輝
 東京地下鉄株式会社 正会員 小川 大貴
 東京地下鉄株式会社 正会員 小西 真治
 株式会社メトロレールファシリティーズ
 正会員 篠原 秀明

1. 緒言

地下鉄トンネルの保全において、コンクリート片のはく落は、列車の安全な運行に支障となるため、この発生の防止が重要である。しかし、トンネル壁面の全面を対象に打音検査等を実施することは実務上難しい。従って、打音検査対象区間や箇所を選定において、対象箇所の優先度を決定する等、メリハリを付けた業務実施方法が求められる。そこで、本研究では、上床の検査データおよび構造諸元や周囲環境に関するデータ（以降、構造/環境情報という）を対象としたデータ分析を行うことで、上床のはく離/はく落が統計的に生じやすいと考えられる区間「要注意区間」の判別を試行した。この推定結果を実務に活用することで、例えば、側壁打音時に上床への注意喚起を行うなど、検査時の劣化事象の見落とし防止と業務効率化、潜在リスク低減を目指す。

2. 手法

2. 1. 手順

本件研究の手順を図 1 に示す。まず、トンネル上床のはく離/はく落発生データの統計上の傾向を調べるため、上床ではく離/はく落経験が有るトンネル区間のみ（上床はく離/はく落経験群）を対象とし、主成分分析およびクラスタ分析を行った。得られたクラスタは、類似のデータ特性を有するデータレコード（トンネル区間）が集合していると考えられる。そこで、劣化の要因等、同クラスタに類別された理由についての推察に基づき、劣化特性の類型化を試みた。最後に、はく離/はく落が生じているかどうかに関し、重回帰分析に基づく 2 値判別を行ったが、その際には、以上のクラスタ分析結果の考察をふまえ、対象とするデータセットを分割し（モデル分割）、判別を適用した。

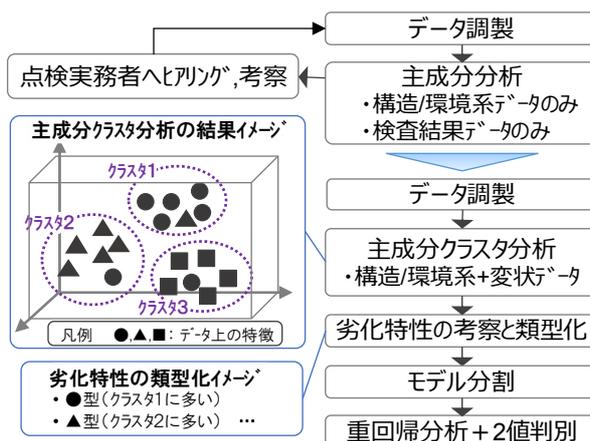


図-1 分析手順の設計

2. 2. データ

対象データは、東京地下鉄の 2 路線(A, B 路線とする)を対象とし、検査データ、諸元データ、建設時情報、近接工事記録、防水処理に関するデータ、土被りデータ、上床/側壁の検査結果データを準備したほか、外部データとして、感潮河川の位置を示す GIS データを利用した。具体的な説明変数を表 1 および表 2 に示す。

2. 3. 判別結果

モデル分割を行わず、全データによるモデル化を行った場合 (A0, B0) に対し、モデル分割を行った場合の性能向上を F 値の上昇度合いにより評価した (表 3)。結果より、モデルの分割により、おおむね判別性能が向上することが確認できた。特に、「バラスト」、「感潮河川までの距離が 50m 未満」、「工法が潜函」といった区間のみを抽出し、モデル化を行った場合には、判別の性能が顕著に上昇することが示唆された。

モデル分割により、判別性能が向上するといった特性を活用すれば、上床はく離/はく落の効率的な見落とし防止に向けた注意区間設定の精度が向上すると考えられ、見落とし防止効果の向上に繋がる事が期待される。

表-1 構造/環境データの説明変数一覧

#	データ項目	質/量	カテゴリ化方針†	
1	竣工年	量	—(実施しない)	
2	線形半径逆数		300m未満	
3			300m以上1000m未満	
4			1000m以上	
5	線形勾配		20%未満	
6			20%以上	
7	構築上土被り		—(実施しない)	
8	感潮河川までの 離隔距離		50m未満	
9			50m以上400m未満	
10			400m以上	
11	100mあたり工事日数		200日未満	
12			200日以上	
13	工法		開削	
14			潜函	
15			イコス	
16	軌道敷設材質		パラスト	
17			コンクリート	
18	防水層施工有無		質	有り
19	近接施工有無			有り

表-2 変状データの説明変数一覧

#	構造物	データ項目	単位	質/量	カテゴリ化	
1	上床	はく離/はく落系変状	m ²	量	— (実施しない)	
2		ひび割れ	線状延長			m
3			亀甲状面積			m ²
4		補修面積	建設初期			m ²
5			劣化による			m ²
6		漏水系変状	m ²			
7		ジャンカ	m ²			
8	コールドジョイント	m				
9	側壁	はく離/はく落系変状	m ²			
10		ひび割れ	線状延長			m
11			亀甲状面積			m ²
12		補修面積	建設初期			m ²
13			劣化による			m ²
14		漏水系変状	m ²			
15		ジャンカ	m ²			
16	コールドジョイント	m				

†: 条件に該当するデータ値に数値の1を登録し, カテゴリ化を実施し, 分析用の説明変数を構成した.

表-3 上床はく離/はく落変状の有無に関するモデル分割による判別結果性能の比較

路線	モデル分割グループ	モデル分割の条件		閾値設定し(F値最大条件)2値判別を行った結果												
		分割時の参照変数	値	データコード件数	判別結果データ件数							結果値			モデル分割グループ毎の評価	
					注意区間の候補				FN	Precision (精度)	Recall (検出率)	F値(精度と検出率の調和平均)	モデル分割によるF値上昇量	F値	モデル分割によるF値上昇量	
					TP	TN	FP	計								
A 路線	A0	分割なし	—	6,043	331	1,937	628	2,896	251	0.345	0.569	0.430	—	0.430	—	
	A1	軌道敷設材質	パラスト	493	92	9	144	245	3	0.390	0.968	0.556	0.126	0.479	0.049	
			コンクリ	5,597	286	1,761	651	2,698	201	0.305	0.587	0.402	-0.028	0.459	0.030	
	A2	工法	潜函	368	17	145	8	170	28	0.680	0.378	0.486	0.056	0.459	0.030	
			開削	5,685	339	1,713	692	2,744	197	0.329	0.632	0.433	0.003	0.459	0.030	
	A3	感潮河川までの 離隔距離	50m未満	319	43	85	25	153	13	0.632	0.768	0.694	0.264	0.508	0.079	
			~400m未満	1,412	78	470	122	670	72	0.390	0.520	0.446	0.016	0.508	0.079	
		400m以上	4,297	195	1,424	439	2,058	181	0.308	0.519	0.386	-0.043	0.508	0.079		
B 路線	B0	分割なし	—	5,831	628	1,210	968	2,806	219	0.393	0.741	0.514	—	0.514	—	
	B1	軌道敷設材質	パラスト	234	68	25	19	112	10	0.782	0.872	0.824	0.310	0.653	0.139	
			コンクリ	5,474	437	1,524	610	2,571	332	0.417	0.568	0.481	-0.033	0.653	0.139	
	B2	工法	潜函	649	116	129	57	302	45	0.671	0.720	0.695	0.180	0.590	0.076	
			開削	5,189	519	1,062	930	2,511	167	0.358	0.757	0.486	-0.028	0.590	0.076	
	B3	感潮河川までの 離隔距離	50m未満	209	55	18	31	104	1	0.640	0.982	0.775	0.261	0.618	0.104	
			~400m未満	2,157	203	664	137	1,004	149	0.597	0.577	0.587	0.073	0.618	0.104	
		400m以上	3,395	300	848	480	1,628	139	0.385	0.683	0.492	-0.022	0.618	0.104		

凡例: 黄色: モデル分割前, 赤色: モデル分割前に比べF値の10%以上の上昇が見られたモデル分割条件.

3. 考察

分析結果を踏まえ, 側壁打音時や通常全般検査時に上床の目視も行うべき「要注意区間」の検討を行った. 要注意区間設定には, モデル分割により特に性能向上がみられた分割モデル: 「軌道敷設材質=パラスト」, 「工法=潜函」, 「感潮河川までの距離=50m 未満」を選定した. これらのモデルにより, 上床にはく離/はく落変状有り判定された区間を統合(論理和)し要注意区間として提案する. 以上で設定した要注意区間は, 本研究で対象としたA, Bの2路線において路線延長の10%前後であり, この該当区間に全ての上床はく離/はく落発生経験区間の30%~40%程度が含まれている. 従って, 例えば, 本研究で提案する要注意区間(全区間の10%程度の区間)を側壁点検時に上床の目視も合わせて行うことで, 上床のはく離/はく落全体の3~4割を把握できる可能性を示唆しており, 効率的なはく離・はく落のリスク低減に繋がる事が期待される.

4. 結言

本論文では, データ統計から仮説的なクラスターの類型化を行ったが, この仮説の妥当性については, 判別分析の性能変化による評価に留まっている. 今後は, この仮説が, 土木工学・現場知見に照らして, 説明が結びつくのか等の議論をふまえ, 変状発生位置や特性を含めた詳細な考察が必要であると考えられる.

5. 連絡先

東京大学大学院情報学環「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座第2期 <http://www.advanced-infra.org>