

点検データ分析による高速道路橋床版の変状状態推定

東京大学 正会員 ○湧田 雄基
 東京大学 長内 圭太
 東京大学 正会員 石川 雄章

東日本高速道路株式会社 正会員 津田 剛彦
 東日本高速道路株式会社 木村 信隆
 東日本高速道路株式会社 正会員 市川 暢之
 東日本高速道路株式会社 正会員 松坂 敏博

1. はじめに

東日本高速道路株式会社では、延長約 3,800km の高速道路を維持管理している。これらの管理対象に対するメンテナンス業務を効率化し、安全性を維持することは、維持管理現場における重要な課題である。

橋梁床版の維持管理では、交通規制を行った上での限られた時間の中で、舗装面を除去し、変状箇所の確認および打ち換え工事等を行う。この工事計画立案においては、床版の損傷状況を正しく判定した上で工事箇所の選定を行う必要がある。しかしながら、橋梁床版上面の変状状態は、舗装を取り除かなければ状態の確認ができない。従って、保全現場においては、精度の良い状態推定技術の確立により、定量的で根拠のある計画立案による業務効率化が求められている。以上の背景を受け、本研究では、高速道路橋のコンクリート床版を対象とし、橋梁床版の舗装面ならびに床版下面の目視点検データを用いたデータ分析により、直接観測できない床版上面の状態の推定を試みた。

2. 対象データ

インフラ点検記録データに機械学習等のデータ分析手法を適用した研究は、近年多く、例えば、床版の劣化推定に関する研究では、床版劣化の経時変化をモデル化し劣化予測を行う研究[1]等がある。また、舗装面のポットホール等の劣化と床版劣化との相関や[2]、床版下面のひびわれ密度と床版の劣化度との相関[3]についても指摘されているものの、床版の状態推定において点検データに対する機械学習手法の活用については、十分に研究されていない。

本研究では、橋梁点検の結果として蓄積されている舗装路面の点検データから、線状ひび割れ、面状ひび割れ、部分補修箇所（パッチング補修）の3つのデータを、床版下面の点検データから、遊離石灰・白華、二方向ひび割れの2つのデータをそれぞれ取り出し、分析における説明変数とする。また、直接観測できない床版上面の状態を示すデータについては、舗装を剥がした際の記録から WJ（ウォータージェット）補修のデータを用い、橋梁床版に実際に変状が有ったことを示すデータと見なし、目的変数とする(Table 1)。

各データは、CAD 図面（DWG 形式）として管理されており、橋梁展開図（鉛直上方から俯瞰した図面）上のポリゴンデータとして確認ができる(Fig. 1)。

本研究実施にあたり、DWG データを DXF のテキスト形式に変換した上で、各データを抽出した。抽出においては、図面を 1m 四方サイズのメッシュに区分し、それぞれのメッシュエリアに各データ（Table 1）が含まれるか否かによって、0 か 1 かの 2 値を示すデータテーブルを作成した。

Table 1 Data for the estimation analysis

データ区分	説明	データ項目
舗装面 点検データ	舗装面を目視点検した記録データ。	線状ひび割れ
		面状ひび割れ
		部分補修(パッチング)
床版下面 点検データ	床版下面を目視点検した記録データ。	遊離石灰・白華
		二方向ひび割れ
床版上面 変状データ	補修工事記録から、床版上面に変状があった箇所を示す。	WJ(Water Jet)補修

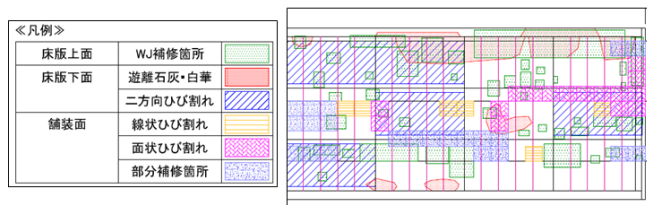


Fig. 1 The deformation data on the overhead view of drawing

キーワード 機械学習, 判別分析, SVM, インフラ保全, 維持管理, 点検, 高速道路, 床版

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

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 ダイワユビキタス学術研究館 2F ユビキタス情報社会基盤研究センター

TEL : (03) 5841-1070, FAX : (03) 3433-6659-1560, E-mail : wakuda@iii.u-tokyo.ac.jp

3. 手法

分析手法には、「判別分析（線形）」、「SVM」を用いた。判別分析は MATLAB（Mathworks 社）の標準関数を用い、SVM は libsvm ライブラリを用いた。各手法の学習と評価においては、n-fold Cross Validation (n=5) を用いた。SVM のハイパーパラメータとしては、分類誤りのコスト c と決定境界の複雑さを決定する γ との 2 つの調整を行った（探索範囲: $c = 2^{-16} \sim 2^{16}$, $\gamma = 2^{-16} \sim 2^{16}$ のグリッドサーチ）。

4. 評価

分析（学習）により得られるモデル（推定器）の推定性能評価においては、AUROC（Area under ROC curve: ROC 曲線の下部面積）を分析全般の推定性能を示す評価指標として用いた。また、推定による業務貢献の定量評価のため、推定を用いない場合として一般的な現場知識に基づく工事箇所判断（Table 2）をシミュレーションにより求め、これを現業戦略として比較した。

Table 2 Example of present operations for the comparison

名称	説明
戦略 A：舗装面の任意変状	舗装面に、任意の変状（線状ひび割れ/面状ひび割れ/部分補修箇所）がある位置＝床版上面に変状有りと判断する業務戦略。
戦略 B：舗装面の面状ひび割れ	舗装面に、面状ひび割れがある位置＝床版上面に変状有りと判断する業務戦略。
戦略 C：舗装面の部分補修	舗装面に、部分補修がある位置＝床版上面に変状有りと判断する業務戦略。
戦略 D：舗装面変状と床版下面変状の共起	舗装面に変状（パッチング or 面状ひび割れ）が有り、かつ、床版下面に変状（遊離石灰 or 二方向ひび割れ）がある箇所＝床版上面に変状有りと判断する業務戦略。

5. 結果

分析手法毎の性能評価結果を Table 3 に示す。今回の分析結果によれば、二次モデルによる判別分析および SVM による結果が、AUROC に基づく評価において最も良い結果を示している。

5. 考察

SVM や判別分析（この他、決定木分析を実施）のデータ分析に基づく推定では、舗装面や床版下面の変状位置を組み合わせる戦略よりも、推定性能が高まることが示唆された。戦略 D は、舗装面と床版下面との変状共起（同時発生）に基づいて床版上面の状態推定を行う業務戦略であるが、この結果の Precision（精度）、Recall（検出率）を確認すると、それぞれ Precision=0.300、Recall=0.175 となる。つまり、戦略 D に基づいて補修工事箇所を決定すれば、30%の確率で床版上面の変状に当たり、戦略 D の判定結果箇所を全て補修すれば、真に変状のある箇所の 17.5%を実際に補修できることになる（82.5%は取りこぼす）。他方、SVM を用いた結果では、同様の Precision 値周辺で、性能を選択すると、Recall 値は約 0.473 となり、現業戦略より高い値を得る。Precision と Recall とは、一般にトレードオフの関係となるが、現業として示した A～D の戦略では、これらの関係を調整することができないが、推定を用いた場合（Table 3 #1～#2 等）では、Precision-Recall 曲線（Fig. 2）に基づいて性能を選択することが可能である。

6. 今後の課題

今後、利用データの補強による再現性評価や実務への適用を考慮した上での具体的な業務貢献評価を検討する。

参考文献

- [1] 貝戸 清之, 福田 泰樹, 起塚 亮輔, 橋爪 謙治, 出口 宗浩, 横山 和昭, "遊離石灰法に基づく RC 床版の劣化予測および補修優先順位の決定法", 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 68, No. 3, pp. 123-140, 2012.
- [2] 橋梁マネジメント研究会, "道路橋マネジメントの手引き", 海洋架橋・橋梁調査会, 2004.
- [3] 松井 繁之, 前田 幸雄, "道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案", 土木学会論文集, Vol. 1986, No. 374, pp. 419-426, 1986.

Table 3 The evaluation result of estimation

#	手法名	AUROC
1	判別分析（線形モデル）	0.644
2	SVM	0.649
3	戦略 A：舗装面の任意変状	0.525
4	戦略 B：舗装面の面状ひび割れ	0.523
5	戦略 C：舗装面の部分補修	0.548
6	戦略 D：舗装面/床版下面の変状共起	0.538

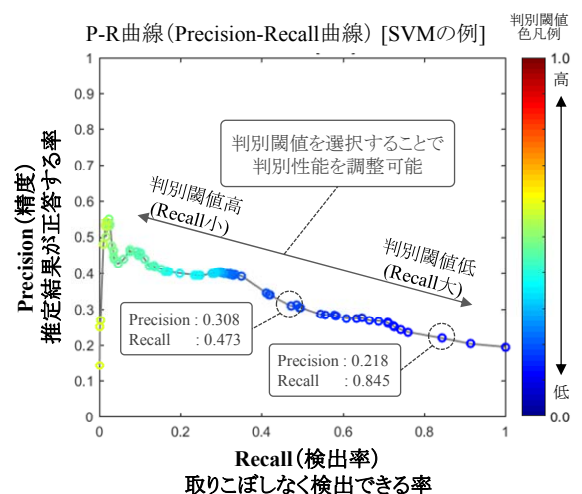


Fig. 2 P-R Curve in the case of SVM-based estimation