

橋梁定期点検データの分析および機械学習の利活用

長崎大学大学院 学生会員 石田大晴
長崎大学 正会員 山口浩平
成田国際空港株式会社 非会員 河内健吾

1. 研究背景および目的

日本の橋梁の定期点検の現状は、少子高齢化による技術者不足、建設後 50 年が経過している構造物の割合が増加、資金不足、点検に多大な時間や労力が必要であることなどが問題となっている。そのため、効率的な維持管理手法の構築が求められている。

橋梁の定期点検は橋梁定期点検要領¹⁾に沿って実施されるが、点検と診断の関係性は対応しておらず、橋梁検査員の知識や経験に依存している。そこで本研究では点検結果である「損傷の程度」と診断結果である「判定区分」の関係性を分析し、その関係性を組み込んだ機械学習²⁾により自動診断支援システムを構築することを目的とする。研究の流れは、大きくわけて3つの項目を並行して行う。1つ目は空港内橋梁の点検調書から得られる情報から様々な分析を行う「判断基準の確立を含むデータ分析」、2つ目は「機械学習の利活用」、3つ目は2つ目で行った機械学習についての「誤答の分析」である。

2. 空港内橋梁の定期点検データの分析

今回分析したデータは、成田国際空港内の 2014 年から 2021 年までの 8 年分の定期点検調書に記録されている橋梁全 51 橋（総損傷数 10786 損傷）である。

判定区分が B または C1 における判断基準を該当損傷数が多い上位 5 を表 1 に、判定区分が C1 または C2 における判断基準の全てを表 2 に示す。判断基準の使用方法としては、表に示す判断基準を満たしていると判定区分を劣等側に評価するというものである。この判断基準を参考にすることで、橋梁検査員の知識と経験に依存していた判定区分の診断が、より統一されるものと考えられる。この判断基準を見出せたことで機械学習の精度について検討していく。

3. 自動診断支援システムの構築

3.1 機械学習の手順

機械学習の手順を図 1 に示す。機械学習は step1～step4 までの段階を踏み、損傷の種類と損傷の程度のみの情報から診断結果を決定するものを step1 とする。step1 に加えて、全ての部材情報を考慮したものを step2 とする。step1 に加えて、判断基準を考慮したものを step3 とする。そして step1 に加えて、全部材および判断基準を考慮したものを step4 とする。

3.2 機械学習とネットワークの精度評価の指標

機械学習モデル精度の評価には、AUC、MCC、正解率、適合率、検出率、F 値の 6 つの評価指標を用い

る。AUC (Area Under the Curve) は、ROC 曲線によって算出される ROC 曲線の下部面積が AUC と同等で、その値は 0~1 の値を取り 1 に近づくほど、ネットワーク精度が高い。MCC (マッシュズ相関係数) は、コンヒュージョンマトリクスから算出され、その値は-1~1 の値を取り 1 に近づくほどネットワーク精度が高い。ここで 1 は完全予測を表し、-1 は逆予測を表す。正解率は、予測が正しい割合（機械学習の精度）を表す指標である。適合率は、陽性と予測したものが実際に陽性である割合で、見逃しを許容し、より正確な予測をしたい場合に重視すべき指標である。検出率は、実際に陽性のものを陽性と予測した割合であり、見逃しを許容せず予測の精度低下を許容する指標である。F 値は、適合率と検出率の調和平均であり、両者をバランス良く見たい場合に使用する。

3.3 機械学習の各評価指標の結果

step1 から step4 までの各評価指標を判定区分別に表 3 に示す。同表より、判定区分 C2 の精度は、AUC と正解率以外で 0 となっている。これは、判定区分 C2 のデータ数が少ないことが原因と考えられる。AUC と MCC は、step1 から step4 になるにつれて判別能と各評価項目の精度が向上しており、部材情報と判断基準の両者を考慮した step4 の方が機械学習の精度が向上することがわかった。

表 1. B または C1 の判断基準（損傷数順上位 5）

部材	損傷の種類	程度	判断基準
化粧板	腐食	d	漏水、断面欠損
伸縮装置	漏水・滞水	e	雨水の浸入、他部材への影響の懸念、駐車車両への影響の懸念
化粧板	防食機能の劣化	e	断面欠損
地覆	ひびわれ	d	遊離石灰、鉄筋腐食の懸念
床版	補修・補強材の損傷	c	排水不良、腐食、欠損、ひびわれ、遊離石灰、鉄筋露出

表 2. C1 または C2 の判断基準

部材	損傷の種類	程度	判断基準
床版	腐食	d	機能に支障が生じることが懸念、腐食進行の懸念
床版	防食機能の劣化	e	損傷の進行や機能に支障が生じることが懸念
支承本体	ゆるみ・脱落	e	支承セットボルトが未設置、安全性の観点
支承本体	支承部に機能障害	e	支承サイドストッパーの変形、支承機能の低下が懸念
支承本体	防食機能の劣化	e	安全性の観点
支承本体	腐食	d	安全性の観点

キーワード 機械学習、橋梁維持管理、自動診断、橋梁定期点検要領

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学大学院工学研究科構造工学コース TEL 095-819-2591

3.3 機械学習の各評価指標の結果

step1 から step4 までの各評価指標を判定区分別に表 3 に示す。同表より、判定区分 C2 の精度は、AUC と正解率以外で 0 となっている。これは、判定区分 C2 のデータ数が少ないことが原因と考えられる。AUC と MCC は step1 から step4 になるにつれて判別能と各評価項目の精度が向上しており、部材情報と判断基準の両者を考慮した step4 の方が機械学習の精度が向上することがわかった。また、MCC の B と C1 における step2 と step3 とで比較すると、step3 の方がやや高いことから部材情報より判断基準を加味すると機械学習の精度の向上が伺え、また確立した判断基準の有効性も確認できる。正解率は、判定区分 B と判定区分 C1 は step を経るごとに値が大きくなっている。このことから部材や判断基準の情報を付加して学習を行うことで、モデルの性能が向上することがわかる。さらに step2 よりも step3 の値がわずかに大きいことから、部材情報よりも判断基準情報を付加した方がモデルの性能をより向上させることがわかる。また、判定区分 C2 は、すべての step で正解率が 0.99 と非常に高い結果となっているが、AUC 以外の指標がすべて 0 となっているため、この結果のみでモデルの性能を判断するのは適切ではない。適合率は、判定区分 B は step を経るごとに値が大きくなっているため精度が高いモデルとなっていることがわかる。また、判定区分 C1 は、step1 よりも step3 と step4 で値が大きくなっていることから、判断基準情報を付加することでモデルの精度が向上すると考えられる。検出率は、判定区分 B のすべての step で 0.93 以上となり非常に高い精度であるため、陽性データの見逃しが少ないモデルになっていることがわかる。橋梁における損傷評価の見逃しは望ましくないため適切なモデルであるといえる。F 値は、判定区分 B、C1 において step を経るごとに値が増加していることから、より均整の取れたモデルに変化していることがわかる。

3.4 機械学習の誤答の分析

判断基準のみを付与した step3 を対象とし、出力された自動診断結果を教師データと比較することにより誤答の分析を行った。正誤の割合は正答 83%、誤答 17%であり、誤答であったもののうち、どの様な間違え方をしたのかの内訳を図 2（左図）に示す。C1 を B と誤答した割合は全体の 72%を占めた。そこで step3 の C1 を B と誤答した分析を行う。図 2（右図）に C1 を B と誤答したデータにおける判断基準の有無を示す。19%が判断基準情報を持ち、81%が判断基準をもたないデータである。

表 4 に C1 を B と誤答したデータの多い順に上位 5 位までを示す。同表より、主桁の防食機能の劣化が最も多く全体の 13%を占める。損傷の種類に着目すると、防食機能の劣化や漏水・遊離石灰が目立つ結果となった。このことから部材と損傷の種類の組み合わせのうち、防食機能の劣化や漏水・遊離石灰に関する損

傷で誤答している傾向があることがわかる

4. まとめ

- (1)対策区分の判定が重複しているデータにおいて、点検調査をもとに点検と診断の関係性を分析することで表 1、表 2 に示す判断基準を見出すことができた。
- (2)機械学習では step を経るごとにモデルの精度が向上することがわかった。しかし、判定区分 C2 においては正解率と AUC のみが大きい値となっているが、その他の指標は、0 であるため精度の低いモデルであることがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・防災課：橋梁定期点検要領，2018.6
- 2) Deep Learning Toolbox 入門ガイド，2019.3
- 3) MATLAB R 2020a

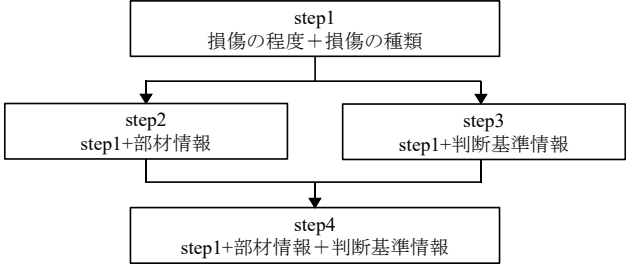


図 1. 機械学習の流れ

表 3. モデル評価指標の出力結果

データ数		9753 個(B 6520 個, C1 3176 個, C2 57 個)					
判定区分		AUC	MCC	正解率	適合率	検出率	F 値
B	step1	0.83	0.51	0.79	0.79	0.95	0.86
	step2	0.88	0.57	0.82	0.82	0.93	0.87
	step3	0.88	0.60	0.83	0.83	0.94	0.88
	step4	0.93	0.69	0.87	0.86	0.95	0.91
C1	step1	0.83	0.50	0.79	0.80	0.48	0.60
	step2	0.88	0.57	0.82	0.82	0.60	0.68
	step3	0.88	0.60	0.83	0.82	0.62	0.71
	step4	0.93	0.69	0.87	0.87	0.69	0.77
C2	step1	0.76	0	0.99	0	0	0
	step2	0.90	0	0.99	0	0	0
	step3	0.83	0	0.99	0	0	0
	step4	0.94	0	0.99	0	0	0

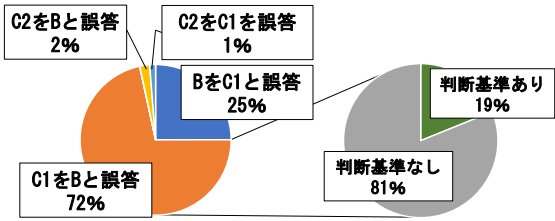


図 2. step3 の誤答の内訳と

C1 を B と誤答したデータの判断基準の有無

表 4. C1 を B と誤答した損傷上位 5

順位	部材	損傷の種類	データ数(個)	割合(%)
1	主桁	防食機能の劣化	152	13
2	防護柵	漏水・遊離石灰	54	5
3	排水管	防食機能の劣化	48	4
4	伸縮装置	防食機能の劣化	43	4
5	横桁	防食機能の劣化	41	3