

順序ロジスティック回帰分析を用いた道路橋の健全度予測モデルの開発

京都大学 正会員 ○横山 勇気 (国研) 海洋研究開発機構 非会員 桑谷 立
 京都府 非会員 寺岡 毅 (一財) 京都技術サポートセンター 正会員 松本 純也
 統計数理研究所 非会員 日野 英逸 京都大学 正会員 塩谷 智基

1. はじめに

我が国の約9割の道路橋は、都道府県、市町村管理である。これら地方自治体では、維持管理予算や専門職員が限られる中、構造物の長寿命化を合理的に進めることが強く求められる。維持管理の省力化に向け、近年、電子化された点検結果を用いた統計学的観点からの検討が進められている^{1,2)}。しかし、既往研究により得られた予測モデルの信頼性は十分ではなく、モデルの構築に種々のデータを必要とするなどの理由から、予測モデルを実務へ反映する段階には未だ至っていない。そこで本研究では、予測モデルの地方自治体への実装を見据え、少数のデータを用いつつも、一定の信頼性が確保された道路橋の健全度予測モデルの構築を試みた。

2. 検討の概要

本検討では、順序ロジスティック回帰分析を用い、道路橋の健全度に影響を及ぼす因子を分析し、かつ次回の点検時の道路橋の健全度の予測モデルを作成した。本分析は、目的変数が3分類以上の順序変数である場合に用いられる多変量解析の手法である。順序ロジスティック回帰モデルを式(1)に示す。

$$\ln\left(\frac{p(y \leq i)}{1 - p(y \leq i)}\right) = -\alpha_i + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (1)$$

ここで、 $p(y \leq i)$ は将来の道路橋の健全度が*i*以下である確率、 X_k は*k*番目の説明変数、 α_i はモデルの切片、 β_k は*k*番目の説明変数に対応する回帰係数である。本検討に用いたデータは、京都府が管理する定期点検結果と各道路橋の諸元管理データ

である。予測モデルの構築には、2019年度、2020年度に2回目の定期点検を終えた754橋のデータを使用し、予測モデルの推定精度の検証に、2021年度に2回目の定期点検を終えた298橋のデータを用いた。解析で設定

表-1 順序ロジスティック回帰分析に使用した目的変数および説明変数

		変数名	単位/コード
目的変数		2回目点検時の道路橋の健全度	1=Ⅰ, 2=Ⅱ, 3=Ⅲ
説明変数	数値型	1回目点検時の道路橋の健全度	1=Ⅰ, 2=Ⅱ, 3=Ⅲ
		供用期間	年
		橋長	m
		幅員	m
		径間数	径間
	カテゴリ型	道路橋下の状況(鉄道の有無)	0=なし, 1=あり

した変数を表-1に示す。目的変数は、2回目の点検時の道路橋の健全度とし、説明変数は、1回目点検時の道路橋の健全度、供用期間、橋長、幅員、径間数、道路橋下の状況(鉄道の有無)とした。用いたデータでは、健全度がⅣと判定された道路橋はないため、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの3段階とした。補修・補強の影響を考慮するとモデルが複雑になり、推定精度に影響を及ぼすと考えられるため、補修・補強を行った道路橋は解析対象外とした。分析はThe Math works, Inc. MATLAB. Version 2021a.を用いて実施した。解析を通じ、説明変数ごとにp値とオッズ比が得られる。p値は目的変数に対する説明変数の有意性、オッズ比は目的変数と説明変数の関連性を示す。p値が0.05未満である場合、橋梁の健全度に対し説明変数は有意な要因と判断する。オッズ比は1を基準とし、値が1から離れるほど目的変数に対する説明変数の影響力が大きい。オッズ比が1より小さい場合、説明変数が数値型であれば値が増加し、カテゴリ型であれば対象区分に該当するほど、次回点検時の健全度の低下する確率が高まり、1より大きい場合は健全度が低下する確率が減少すると考える。

キーワード 維持管理, 健全度予測, 予知保全, 機械学習, 多変量解析, 順序ロジスティック回帰分析
 連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C3-b4S16 TEL 075-383-3496

3. 順序ロジスティック回帰分析の結果

表-2 に解析

結果を示す。同結果より、説明変数に用いた1回目点検時の健全度、供用期間、橋長、径間数、道路橋下の

表-2 解析結果

	説明変数					
	1 回目点検時の健全度	供用期間	橋長	幅員	径間数	道路橋下の状況(鉄道の有無)
回帰係数	-5.230	-0.034	-0.011	-0.007	0.401	-2.909
p 値	0.000	0.000	0.003	0.424	0.016	0.000
オッズ比	186.830	1.034	1.011	1.007	0.670	18.337

状況(鉄道の有無)のp値は、0.05を下回り有意差が認められた。一方、幅員のp値は0.05以上で有意差が認められない。ゆえに、本解析の範囲では、幅員以外の説明変数が道路橋の健全度へ影響を及ぼす因子である可能性が示唆された。1回目点検時の健全度、供用期間、橋長、道路橋下の状況(鉄道の有無)の回帰係数は負となり、オッズ比は1より大きい。本結果は、1回目点検時の健全度が低い道路橋や、供用期間、橋長が長い道路橋、道路橋下に鉄道がある場合、次回点検時の健全度が低下する確率が高まり、特に1回目点検時の健全度と道路下の状況の影響度が大きいことが分かる。径間数の回帰係数は正であり、オッズ比は1より小さい。この結果は、径間数が多い道路橋では次回点検時の健全度が低下する確率が減少することを意味する。

4. 予測モデルの推定精度の検証

表-3 にモデルより算出した2回目点検時の各健全度確率と点検結果を示す。同表は2回目点検時の健全度Ⅲ判定の確率順で示しており、上位の橋を考察する。上位12橋までは提案モデルで点検結果が正確に予測できているが、13位のJ橋では、モデルで最も高い確率を示した健全度と実際の点検結果が異なった。この要因として、予測モデルの構築に使用した点検結果のうち、健全度が1と3の道路橋数が、健全度が2の道路橋数に比べ少ないことが挙げら

表-3 モデルで算出した2回目点検時の各健全度の確率と点検結果

	橋梁名	供用年数(年)	モデルで算出した各健全度の確率(%)			点検結果の健全度
			I	II	III	
1	U橋	64	0.00	9.36	90.64	III
2	K橋	60	0.01	12.20	87.79	III
3	H橋	51	0.01	13.23	86.76	III
4	T橋	51	0.01	14.03	85.96	III
5	N橋	50	0.01	14.46	85.53	III
	ゝ	ゝ	ゝ	ゝ	ゝ	ゝ
13	J橋	36	0.20	82.69	17.11	III

れる。予測精度を向上させるためには、気象や交通量などのデータも考慮する必要があると考えられる。なお、本検証に用いた全298橋のうち、約80%の240橋で予測値と点検結果が整合した。

5. まとめ

京都府内の道路橋の点検結果と管理データを用い、順序ロジスティック回帰分析を行うことで、供用期間、橋長、道路下の鉄道の有無が道路橋の健全度に与える影響が大きいことを確認した。本研究で得られた道路橋の健全度予測モデルは、次回点検時の健全度を約80%の確率で推測可能であることも確認した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、CORE技術研究所の小椋紀彦氏、サグラジャン・アルトゥル氏、中央復建コンサルティングの稲留靖浩氏、川崎健太氏から貴重な助言を賜った。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 横井芳輝, 石尾真理: 全国規模の道路橋点検データに基づく鋼橋の劣化の特徴, 鋼構造論文集, Vol.21, No.82, pp.99-113, 2014.
- 2) 山崎崇央, 石田哲也: 生存時間解析を用いた東北地方における道路橋コンクリート部材の劣化定量分析, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.71, No.4, pp.I_11-I_22, 2015.