

機械学習を用いた道路橋洗掘リスク評価システムの構築

香川大学 賛助会員 ○長田明日香 網野優果 正会員 岡崎慎一郎 梶谷義雄

1. はじめに

平成 30 年 7 月に発生した西日本豪雨災害が交通の要所となる橋梁に与えた被害は甚大であった。香川県三豊市の鉄道橋である財田川橋梁では、橋脚の大変形に伴って線路が湾曲し、列車がこの橋梁を安全に通行することが不可能となった。豪雨災害が橋脚に与える被害は、交通ネットワークに障害をもたらし、人々の日常生活に多くの影響を与えることになるため、被害を受ける恐れのある橋梁をより簡易な方法で的確に抽出する必要がある。本研究では、橋梁の地形地質的諸元、河川・水理学的諸元および、構造的諸元に基づいて、洗掘に対する危険性を評価するという観点から研究を進めることとする。

2. 現在の洗掘被災危険性の評価

佐溝ら¹⁾は、洗掘に影響を与える要因を、(1)河川の地形地質的な性状、(2)河川工学的・水理学的な性状、(3)洗掘と鉄道橋梁の構造条件の 3 つに分類した。さらに、データ収集が困難なパラメータを除外し、表 1 の 13 パラメータを抽出し、相関性や増減法を用いることにより最終的に 7 つのパラメータを判別分析に採用したが、精度に問題があった。本研究では、表 1 のパラメータを全て用いて、新たに洗掘リスクを評価する判別分析モデルを作成することとした。

本研究における目的変数は、洗掘による被災歴の有無としたが、橋梁災害の形態による現象の分類は、橋脚の傾斜転倒、基礎の露出、防護工の流失・変状などがある。ここでいう被災歴有りとは、主に上述の変状が増水時あるいは増水後に発生し、橋脚基礎の安定性の急激な低下により安全な橋梁でないと判断された事象を指す。また、具体的な被災記録が残っていない橋梁でも、明らかに洗掘被災によって防護工等の設置がなされたと判断された橋脚については被災歴有りとして分類した。

判別分析を行う際のデータは橋梁別パラメーター一覧¹⁾を使用した。このデータは被災歴有りが 91 橋脚、被災歴無しが 75 橋脚、計 166 橋脚であった。また、県内橋梁のデータは高松市土木事務所より提供された春日川と香東川に架かる橋梁のうち、橋脚がありデータが資料として残されていた 16 橋梁の橋梁資料を収集し、各パラメータを整理した。収集した資料にデータの欠落がある場合は、現地調査や更なる資料調査を加えてデータを完結した。ここでは、「被災歴有り」を母集団Ⅰ、「被災歴無し」を母集団Ⅱとする。

3. 機械学習

本研究では、上述の橋梁別パラメータを教師データとし、機械学習アルゴリズムを用いて構築した回帰モデルを香川県高松市内の橋梁に対して適用し、洗掘リスクの評価を行った。なお、本研究では線形判別分析により佐溝ら¹⁾の判別式を再現し、サポートベクターマシン(以下、SVM)によりパラメータの検討を行った。本研究では佐溝ら¹⁾のデータ 166 個に対して 166 回の交差確認をそれぞれの分析後に行い、その精度を確認した。

本研究では R 言語を使用し、表 1 のパラメータの組み合わせを検討した。表 2 に各検討により算出された正答率の一覧を示す。手順 1 で、線形判別分析により佐溝ら¹⁾の判別式をほぼ再現した判別式に対する交差確認を行い、正答率 81.6%を得た。以降は、これを基準に、精度向上および、被災歴があるにも関わらず判定結果

表 1 検討するパラメーター一覧

(1)河川の 地形地質的な性状	(2)河川工学的・ 水理学的な性状	(3)洗掘と 鉄道橋梁の構造条件
川幅: B 曲率: $1/r \times 1000$ 河道の交角: θ 浸食速度: E_v	最大水深: h_i 粗度係数: n 河床材料の平均粒径: d_m 植生の有無: V_{eg}	流路内位置比: P_{ci} 橋脚幅: D_i 分担河積阻害率: S_{ci} 橋脚と水際線との距離: d_{ci} 支間長: L_i

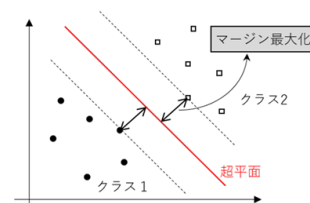


図 1 SVM のイメージ図

が被災無しとなる「見逃し」のケース(表 2, 黄色で表示)の低減を判断基準とした。手順 2 で, 判別分析に SVM を採用しそれに対し交差確認を行い, 80.6%となった。手順 1 と比較し, 「見逃し」は減少したが正答率も減少したため, パラメータの検討が必要であると分かった。手順 3 で, 表 1 のパラメータの組み合わせを検討し, E+veg+D+Poi+dsi の組み合わせにより最も正答率 83.6%に向上し「見逃し」のケース数も 8 件に減少した。最後に手順 4 でさらに精度を向上させるため, 最適なコストパラメータ C とハイパーパラメータ sigma を検討したことにより正答率は 84.9%にまで向上した。本研究ではこれを最適モデルとした。

4. 香川県内洗掘リスクポテンシャルの評価

作成したモデルを財田川橋梁へ適用した判定結果によると, 3P と 4P で被災となった(表 3)。実際に被災したのは 4P のみであったが, 3P については, 今後, 被災が懸念されるものと考え, 本提案モデルは妥当であるとし, 高松市内橋梁での検討に進む。

香川県高松市内の香東川・春日川に架かる橋梁に対してモデルの適用を行った結果, 全 16 橋梁 61 橋脚中 53 橋脚が安全, 8 橋脚が被災と判定された。表 4 に被災判定が出た橋梁のデータをまとめた。被災している橋脚に共通していることは植生が無い(veg=1)ということである。また, 流路内位置比 Poi の値が大きいこと, つまり, 内縁側からの距離が遠いことや, 水際線との離隔 dsi が 0m, つまり, 平常時から橋脚が水に浸かっており洗掘しやすいこともそれぞれ結果に影響を及ぼしたと考えられる。ただし, 郷東橋では種々の感度分析を実施したものの, 合理的な考察を得ることができなかった。4P のみ被災という判定結果になったが, 安全と判定された他の橋脚との相違点は流路内位置比であるが, 特に値が大きいというわけでもなく, 洗掘しやすい条件にも該当しない。植生が無しであり水際線との離隔が 0m である点は洗掘リスクが高まると言えるが, 本橋梁では他の橋脚も同じ条件であったため分析が難しい結果となった。

表 2 各手順における正答率と「見逃し」の比較表

手順	母集団	判別数(橋脚数)			正答率 (%)
		被災	安全	合計	
1	I : 被災歴有り	77	14	91	84.615
	II : 被災歴無し	16	59	75	78.667
	合計	-	-	166	81.641
2	I : 被災歴有り	80	11	91	87.912
	II : 被災歴無し	20	55	75	73.333
	合計	-	-	166	80.623
3	I : 被災歴有り	83	8	91	91.209
	II : 被災歴無し	18	57	75	76.000
	合計	-	-	166	83.604
4	I : 被災歴有り	83	8	91	91.209
	II : 被災歴無し	16	59	75	78.667
	合計	-	-	166	84.938

表 3 財田川橋梁への適用

No	被害状況	判定	E	veg	D	Poi	dsi
1	安全	安全	0.2	1	2.5	0.144	24.5
2	安全	安全	0.2	0	2.5	0.286	7.0
3	安全	被災	0.2	1	2.5	0.429	0.0
4	被災	被災	0.2	1	2.5	0.571	0.0
5	安全	安全	0.2	0	2.5	0.714	0.0
6	安全	安全	0.2	0	2.5	0.856	0.0

表 4 被災の判定がなされた橋梁データ

橋梁名	No	判定	E	veg	D	Poi	dsi
郷東大橋	1	被災	0.0	1	2.00	0.800	0.0
	2	安全	0.0	0	2.00	0.600	0.0
	3	安全	0.0	0	2.00	0.400	0.0
	4	安全	0.0	1	2.00	0.200	0.0
郷東橋	1	安全	0.0	1	0.40	0.123	0.0
	2	安全	0.0	1	0.40	0.248	0.0
	3	安全	0.0	1	0.40	0.373	0.0
	4	被災	0.0	1	0.40	0.497	0.0
	5	安全	0.0	1	0.40	0.622	0.0
	6	安全	0.0	1	0.40	0.747	0.0
	7	安全	0.0	1	0.40	0.872	0.0
城渡橋	1	被災	0.1	1	2.07	0.800	0.0
	2	被災	0.1	1	2.07	0.600	0.0
	3	安全	0.1	1	2.07	0.400	24.2
	4	安全	0.1	1	2.07	0.200	48.4
岩崎橋	1	安全	0.1	0	2.42	0.199	24.9
	2	安全	0.1	0	2.42	0.397	4.9
	3	被災	0.1	1	2.42	0.598	7.9
	4	安全	0.1	1	2.42	0.798	28.1
落合新橋	1	被災	0.0	1	3.00	0.491	0.0
六条橋	1	被災	0.0	1	2.50	0.667	0.0
	2	被災	0.0	1	2.50	0.333	0.0

5. まとめ

線形判別分析により, 佐溝らの判定式をほぼ再現し, 交差確認によって改善可能であることを確認した。また, 判別分析に SVM を採用し, パラメータの検討を重ねることによって正答率を 84.9%にまで向上できた。作成したモデルを財田川橋梁へ適用したところ, 実際に被害のあった橋脚を被災と判定することに成功した。謝辞 本研究は JSPS 科研費若手研究 (A) (17H04932) により実施した。ここに謝意を記す。

参考文献: 1) 佐溝昌彦: 国士舘大学審査学位論文, 甲第 31 号, pp61-91, 2014.