

## 橋脚周りの局所洗掘災害に伴う橋脚への影響度評価モデルの構築

香川大学大学院 学生会員 ○高橋良輔 阿南高専 正会員 角野拓真  
香川大学創造工学部 正会員 岡崎慎一郎

### 1. はじめに

近年、激甚化する豪雨災害の一つとして、橋脚周りの局所洗掘が挙げられる。局所洗掘の進展に伴い、橋脚の傾斜等が発生することから、計画的な防災対策を実施する必要がある。しかし、費用等の制約により、全ての橋脚を対象に防災対策を実施することは困難であるため、必要な橋梁から計画的に防災対策を実施する必要がある。著者らは、佐溝らが分析した過去の被災データ<sup>1)</sup>を教師データとして、機械学習を援用することにより、橋脚の被災の有無を判別する被災リスクポテンシャル評価モデルを提案している<sup>2)</sup>。しかし、既往の評価モデルは、被災の有無といった2分類の判別に留まるため、より詳細な防災対策の優先度等を策定するためには、局所洗掘災害が構造物に与える影響をより細かく評価する必要がある。

そこで本研究では、局所洗掘災害による変状種別や被災時の橋梁の使用制限の有無に着目し、より分類を細分化した教師データを構築する。さらに、異なる機械学習アルゴリズムを用いて判別モデルを構築し、それらの判別性能を比較することにより、本問題に最適な機械学習アルゴリズムの選択を行い、橋脚周りの局所洗掘災害に伴う橋脚への影響度評価モデルを構築する。

### 2. 局所洗掘災害による構造物への影響度の分類

佐溝らは、局所洗掘に影響を与える要因として、表1に示すように、「(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つに分類している<sup>1)</sup>。佐溝らは、これらのパラメータを用いた線形判別式による評価モデルを構築しており<sup>1)</sup>、著者らは機械学習を援用した評価モデルを構築している<sup>2)</sup>。しかしながら、これらのモデルは、被災の有無といった2分類の判別に留まるため、防災対策の優先度策定のためには、より詳細な評価が必要となる。

本研究では、被災により橋脚に発生する変状やその変状により生じる橋梁の使用制限等の緊急的な対応を構造物への影響度と解釈し、それらを細分化して整理することにより、さらに詳細な階層情報を付与した教師データを整理することとした。図1に「被災」判別の細分化方法を示す。局所洗掘により生じる変状の種類や橋梁の使用制限等に応じて、過去の被災事例を「無被災」、「被災Ⅰ」、「被災Ⅱ」、「被災Ⅲ」の4つに細分化した。「被災Ⅰ」は、防護工の変状、水位上昇、河床低下等とし、被災時の構造物への影響が比較的低い分類とした。「被災Ⅱ」は、橋脚の使用制限を伴わない軽微な傾斜・沈下、基礎の露出等とし、影響度が中程度の分類とした。「被災Ⅲ」は、使用制限を伴う橋脚の傾斜・沈下、桁の流出等とし、影響度が比較的高い分類とした。

表1 局所洗掘と関わりのあるパラメータ<sup>1)</sup>

(1)河川の地形地質的な性状	
川幅:	$B$ (m)
曲率:	$1/r \times 1000$ (1/km)
河道の交角:	$\theta$ (°)
侵食速度:	$E_v$ (mm/year)
(2)河川工学的, 水理学的な性状	
最大水深:	$h_i$ (m)
河床材料の平均粒径:	$d_m$ (cm)
粗度係数:	$n$
植生の有無:	$V_{eg}$
(3)洗掘と鉄道橋梁の構造条件	
橋脚幅:	$D_i$ (m)
分担河積阻害率:	$S_{oi} = D_i/L_i$
流路内位置比:	$P_{oi} = B_i/B$
橋脚と水際との離隔:	$d_{si}$ (m)
支間長:	$L_i$ (m)

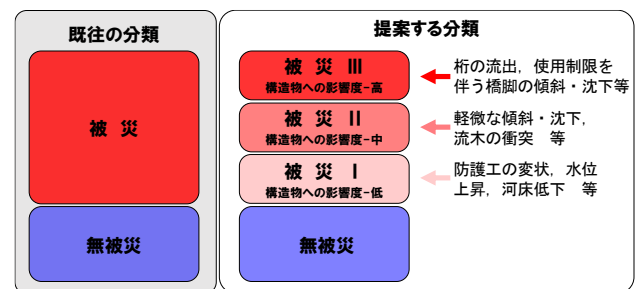


図1 “被災”判別の細分化

### 3. 機械学習を援用した影響度評価モデルの検討

本研究では、佐溝らが分析した被災事例<sup>1)</sup>および近年の被災事例から全46橋脚を教師データとして整理した。ニューラルネットワーク（以降、NN）およびサポートベクターマシン（以降、SVM）を用いて判別モデルを構築し、それぞれのモデルの判別性能を比較した。なお、判別性能の比較には、表2に示す平成30年7月豪雨により被災した流域面積が155.5km<sup>2</sup>の河川を渡河するA橋梁をテストデータとして用いた。説明変数は、表1に示すパラメータの内、 $B$ 、 $S_{oi}$ 、 $V_{eg}$ 、 $L_i$ 、 $h_i$ 、 $D_i$ および $d_{si}$ の7つのパラメータとした<sup>2)</sup>。なお、計算に用いたソフトウェアはR (Ver.4.2.1)である。

表3に判別性能の比較結果を示す。いずれの判別モデルも、被災した4Pの「被災III」を再現していることが分かる。一方で、SVMの場合は、高水敷に位置する1Pも「被災III」と判別する結果となった。SVMにおいて「被災III」と判別された橋脚のみ、 $V_{eg}$ が「無」となっていることから、SVMを用いた場合、 $V_{eg}$ に対して過学習になっているものと考えられる。これらの結果から、NNを用いた影響度評価モデルを構築することとした。

### 4. 実構造物への展開

本研究では、表4に示す流域面積が192km<sup>2</sup>の河川を渡河するB橋梁を対象に実構造物への展開を検討した。表5にテストデータの判別結果を示す。3Pおよび4Pが「被災III」という判別結果となり、橋梁の使用制限を伴う被災の可能性があると判別結果となった。

構造物の管理者が2004年と2022年に実施した根入れ長の測定結果によると、1Pと2Pに根入れ長の変動はなく、3Pと4Pは根入れ長の減少しており、局所洗掘による被災リスクが比較的高まっていると考えられる。そのため、本研究で提案した影響度評価モデルは、実構造物の影響度を概ね評価できると考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、被災により橋脚に発生する変状やその変状により生じる橋梁の使用制限等の緊急的な対応を構造物への影響度と解釈し、分類を細分化した教師データを構築した。7つの説明変数を設定し、NNを援用することで、橋脚周りの局所洗掘災害に伴う橋脚への影響度を概ね評価できることが分かった。

#### 謝辞

本研究は、公益社団法人土木学会「2021年度インフラマネジメント技術国際展開研究助成（代表者：角野拓真）」によって行われた。また、本研究の遂行には四国旅客鉄道株式会社の多大なるご協力を頂いた。ここに、記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 佐溝ら：統計手法による鉄道橋梁の増水時における被災注意橋脚抽出手法，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.69, No.3, pp.237-249, 2013.
- 2) 我部山・角野ら：機械学習を援用した橋脚の洗掘被災リスク評価モデルの構築，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76, No.2, pp.I-601-I-606, 2021.

表2 判別性能の比較のためテストデータ

橋梁	被災歴	$B$ (m)	$h_i$ (m)	$V_{eg}$	$D_i$ (m)	$S_{oi}$	$d_{si}$ (m)	$L_i$ (m)	
A橋梁	1P	無被災	137.16	1.722	1	1.94	10.607	24.50	18.29
	2P	無被災	137.16	5.472	0	1.94	10.607	7.00	18.29
	3P	無被災	137.16	6.872	1	1.94	10.607	0.00	18.29
	4P	被災III	137.16	6.272	1	1.94	10.607	0.00	18.29
	5P	無被災	137.16	4.872	0	1.94	10.607	0.00	18.29
	6P	無被災	137.16	6.622	0	1.94	10.607	0.00	18.29

表3 判別性能の比較

項目	A橋梁					
	1P	2P	3P	4P	5P	6P
被災歴	無被災	無被災	無被災	被災III	無被災	無被災
既往モデル <sup>2)</sup>	無被災	無被災	被災	被災	無被災	無被災
NN	無被災	無被災	被災III	被災III	無被災	無被災
SVM	無被災	無被災	被災III	被災III	無被災	無被災

表4 テストデータ (B橋梁)

橋梁	被災歴	$B$ (m)	$h_i$ (m)	$V_{eg}$	$D_i$ (m)	$S_{oi}$	$d_{si}$ (m)	$L_i$ (m)	
B橋梁	1P	無被災	237.44	3.330	0	2.52	5.358	117.80	46.94
	2P	無被災	237.44	3.895	0	2.52	5.358	72.20	46.94
	3P	無被災	237.44	5.575	0	2.52	5.358	22.20	46.94
	4P	無被災	237.44	8.954	1	2.52	5.358	0.00	46.94

表5 テストデータの判別結果

項目	B橋梁			
	1P	2P	3P	4P
被災歴	無被災	無被災	無被災	無被災
NN	無被災	無被災	被災III	被災III