

災害履歴と地形・地質情報に基づく既設渡河橋梁直接基礎の洗掘危険度評価

北海道大学大学院 正会員 ○磯部 公一 非会員 清水 公陽
 寒地土木研究所 正会員 江川 拓也 正会員 角田富士夫
 (株)北海道水工コンサルタント 正会員 藤田 和成
 元北海道大学 非会員 太田 凌平

1. はじめに

近年の降雨状況の変化により、これまで台風の影響が少なかった北海道においても、平成28年8月に台風が相次いで上陸し、過去に経験したことのない記録的豪雨による被害が道内各地で多発した。この事例では、河川における橋台背面地盤の甚大な被害が社会的に注目された一方で、国道38号の小林橋や清見橋、さらには国道273号の高原大橋において、橋脚を支持する直接基礎周辺地盤の洗掘に起因する橋脚の沈下被害や落橋被害が発生した¹⁾。その後も同種の被害が毎年道内で発生しており、北海道では近年、渡河橋梁の直接基礎形式橋脚の洗掘被害が急増する傾向にある。このような背景を受け、本研究では過去に北海道で発生した渡河橋梁直接基礎の洗掘被害事例に着目し、橋脚の洗掘沈下危険度を容易かつ定量的に評価できる手法を開発した。

2. データベースの作成

情報収集および分析の対象としたのは、平成28年8月に北海道に上陸し記録的な被害をもたらした台風10号による豪雨の範囲に存在し、後述の素因データが収集可能であった渡河橋梁であり、洗掘被害を受けなかった直接基礎橋脚を持つ国道橋87橋と道道橋54橋、台風10号を含む過去の豪雨災害により直接基礎橋脚の洗掘被害を受けた国道、道道、町道の道路橋13件を合わせた154橋である。今回は北海道内の道路橋橋脚の洗掘被害を対象を絞ったために被害事例数はそれほど多くなく、複数の豪雨に対する被害事例が分析対象であることに注意が必要であるが、本研究を通じて北海道における道路橋橋脚の洗掘被災の特徴を把握することが期待できる。洗掘被害の要因は、被害の直接のきっかけとなる降雨等の誘因と、橋梁が潜在的な被害リスクとしてもともと持ち合わせている性質である素因があるが、既往の研究^{2),3)}を参考に、本研究では平時から情報収集が容易である素因に重点を置いた。種々の検討の結果、橋脚洗掘被害の素因として表-1に示す情報を収集した。このうち河川地形的素因と地質的素因はGISを用いて情報³⁾を収集し、国道橋、道道橋の構造的素因は国土交通省北海道開発局および北海道庁から橋梁一般図などの提供を受けた。

3. 分析手法

統計分析には既往の研究と同様、数量化Ⅱ類による線形判別⁵⁾を用いた。分析にあたり、表-1に示すように素因データをカテゴリーに分類した。なお、カテゴリー化に際し、曲率半径と集水面積については河川規模の反映のために川幅で除した値を採用した。本研究では、このカテゴリー分けしたアイテムを説明変数、洗掘被害の有無を目的変数とした判別分析を橋梁単位で行った。また、各素因によってはデータが欠損している橋梁も存在するため、説明変数として組み合わせる素因の数が増えるほど分析対象として算入可能な橋梁が少なくなり、分析精度の低下が生じるという問題がある。そのため、本研究では組み合わせる素因の数を増やし、組合せを変更しながら分析を行った。本報では、最も素因数が多く、正答率が高かった分析結果を報告する。

4. 数量化Ⅱ類による判別結果

表-1に示す素因データがすべて揃い分析可能な橋梁は149件(内被害有り8件)となった。同表に分析結果であるカテゴリーウェイトを併記する。カテゴリーウェイトとは被害への影響度を示し、負の値が大きいほど被害の生じやすさに寄与し、正の値が大きいほど被害の生じにくさに寄与することを意味する。同表より、交差角はカテゴリーウェイトの値が0に近いものが多く、影響度は大きくないこと、曲率半径川幅比は30～

キーワード 洗掘, 直接基礎, 統計分析, GIS, 豪雨

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院 TEL011-706-6201

40 のカテゴリーにおいて負のウェイトを示し、被害発生に影響を及ぼしていることが読み取れる。川幅は相対的に被害発生への寄与が小さい結果となった。また、表層地質は火山砕屑物で負のウェイトを示し、影響度の大きさが窺える一方、礫・砂・粘土では被害事例が多数見られたものの、分析対象橋梁全体でも多くが礫・砂・粘土に分類されていることから、正のウェイトを示した。単位川幅あたりの集水面積では15万～20万メッシュ/m、河床勾配では2.0～2.5%で負のウェイトを示し、強く被害発生に寄与している。竣工年は1960以前で被害発生への寄与が大きいのにに対し、橋長および径間数では他と比べて被害発生への寄与が大きいカテゴリーは見られなかった。これは1976年に制定された「河川管理施設等構造令」⁶⁾において、ダムや橋梁等の構造物について河川管理上必要とされる技術的基準を定めており、河積阻害率や基礎の根入れ深さに対しても一定の基準、目安が設けられたことが大きく影響したものと考えられる。

次に、これらのカテゴリーウェイトをもとに予測した各橋梁の被害の判別結果を表-2に示す。判別予測の正答率は被害ありでは100.0%、被害なしでは95.0%を示し、全体の正答率は95.3%、「安全と予測し被害あり（見逃し率）」は0.0%（0橋梁）、「被災と予測し被害なし（空振り率）」は5.0%（7橋梁）と精度の高い値を得た。紙面の都合上、図は割愛するが、被害ありの判別得点の平均は-1.87点、被害なしの判別得点の平均は1.87となり、被害の有無による判別得点の差が明確に見られた。

5. おわりに

北海道における増水時の直接基礎橋脚の洗掘被害の傾向把握と、一定の精度で被害にまつわる素因の影響度評価、および被害の判別予測を行うことが出来た。今後は、分析対象を被害事例の少ない北海道内の他地域にも広げ、危険度評価の適用範囲を広げる。一方で、定量的評価やそもそも情報収集が難しいことを理由に、誘因となる水位や流量、土砂供給等の欠落していた情報を補う工夫や、同一橋梁内でも橋脚単位で異なる値を説明変数に取り入れた分析、非線形関係を考慮できる機械学習による分析も行うことで精度の向上を目指す。

謝辞

国土交通省北海道開発局および北海道より、国道および道道の橋梁の橋梁点検調査書、および一般図、橋梁データベースの提供、公益財団法人河川財団より2019年度河川基金助成により実施された。また、北海道土木技術会土質基礎研究委員会基礎構造分科会から多くの助言を得た。ここに記して深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会：平成28年度8月豪雨による地盤災害調査報告書，2017。
- 2) 佐溝ら：土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.69, No.3, pp.237-249, 2013。
- 3) 藤田ら：土木技術資料，Vol.61, No.11, pp.36-39, 2019。
- 4) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス <http://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 5) 太田ら：第54回地盤工学研究発表会，pp.1843-1844, 2019。
- 6) 河川管理施設等構造令研究会，日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令，山海堂，1978。

表-1 素因の一覧とカテゴリーウェイト

アイテム	分類	カテゴリー	ウェイト
交差角 (°)	～30	1	-0.114
	30～45	2	-0.172
	45～60	3	0.654
	60～75	4	-0.101
	75～90	5	0.041
曲率半径 川幅比	～10	1	0.012
	10～20	2	0.399
	20～30	3	-0.389
	30～40	4	-1.031
	40～	5	-0.035
	直線	6	0.512
川幅 (m)	～15	1	0.361
	15～30	2	-0.067
	30～45	3	0.293
	45～60	4	-0.220
	60～	5	-0.293
表層地質	礫・砂・粘土	1	0.136
	堆積岩	2	0.756
	火成岩	3	0.921
	変成岩	4	-0.171
	火山砕屑物	5	-2.431
単位川幅 集水面積 (メッシュ/m)	～5万	1	0.117
	5万～10万	2	1.043
	10万～15万	3	1.072
	15万～20万	4	-1.595
	20万～	5	1.398
河床勾配 (%)	～0.5	1	0.240
	0.5～1.0	2	0.143
	1.0～1.5	3	0.203
	1.5～2.0	4	-0.468
	2.0～2.5	5	-1.614
	2.5～	6	0.649
竣工年	～1960	1	-0.917
	1961～1970	2	0.110
	1971～1980	3	-0.339
	1981～1990	4	0.681
	1991～2000	5	0.813
	2000～	6	0.733
橋長 (m)	～50	1	0.938
	50～100	2	0.264
	100～150	3	-0.388
	150～200	4	-0.578
	200～	5	-0.124
径間数	1	1	-
	2	2	0.570
	3～5	3	-0.158
	5～10	4	-0.761
	10～	5	1.277

表-2 判別結果（正答率，見逃し率，空振り率）

被害状況	判別結果		正答率 (%)
	被災	安全	
被害有り	8	0	100.0%
被害無し	7	134	95.0%
全体	15	134	95.3%

安全と予測し被害有り（見逃し率）	0.0%
被災と予測し被害無し（空振り率）	5.0%