

河川隣接区間の道路土工構造物の護岸天端部からの被災リスクの傾向の検討

大津智明・北島大樹・渡邊一弘

1. はじめに

近年の激甚化する豪雨等の自然災害で、洗掘による道路土工構造物の損壊や斜面崩壊等の被害が生じ、道路の交通機能を喪失して、都市間人流や物流ネットワーク機能の停滞などを引き起こす事象が発生している。直轄国道においても、河川に隣接する道路区間における洗掘被害の復旧に1ヶ月を要し、長期の通行規制が発生した深刻な事例があった。

国土技術政策総合研究所では、土木研究所と連携してこれらの被災事象に対し技術支援を行うと共に、被災事例の整理分析等を通じて基準類の改定検討を行っているところである。

河川護岸が被災するメカニズムは、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」（国土交通省水管理・国土保全局、2018.6）にて、護岸の力学的な見地から、以下の6つに分類されている。

- (1) 河床洗掘による被災
- (2) 流体力によるブロックの移動・流出
- (3) 流体力によるめくれ被災
- (4) 裏込めの吸い出しによる被災
- (5) 残留水圧による被災
- (6) 天端からの侵食による被災

本稿では、この分類を参考に、河川護岸に隣接する道路土工構造物を対象に、被災要因について分析した結果を報告する。また、このうち日常の点検では被災リスクの把握が困難と考えられる護岸天端部に盛土構造（以下「土羽構造」という。）を有する箇所において、水理解析に基づく被災時水位を再現した結果と、点検時の現場適用性を踏まえた被災リスクの傾向について検討した結果を報告する。

2. 現地調査による被災形態の分類

平成28年から令和3年までに災害復旧事業として採択された直轄国道における河川に隣接する道路区間の被災事例のうち、前述の被災メカニズムの分類を参考に、洪水流に伴う護岸天端上の土羽構造の侵

食により道路が被災した箇所を含む一連の区間を抽出し、河川の特徴を踏まえながら、被災形態を分類した。

分析対象とした河川は、被災箇所と被災しなかった箇所（以下「非被災箇所」という。）を比較することを目的に、以下の4条件を満たす北海道の沙流川、岐阜県の飛騨川、広島県の瀬野川とし、被災メカニズムを把握すべく現地調査で確認した。

- (1) 被災箇所が橋梁（橋脚、橋台等）による流水の影響を受けていない河川
- (2) 約3kmの区間に複数の被災が存在する河川
- (3) 河川平面線形において湾曲部を有し、被災が発生している河川
- (4) 被災規模（被災延長、被災幅）の大きな箇所が存在する河川

なお、現地調査を通じ非被災箇所ではあるものの、既に変状等が発生しており、被災リスクを有している箇所の存在が確認されたため、それらの箇所を「非被災箇所」と切り分けて「未被災箇所」と定義し、分類した。具体的には変状等により以下の3つのいずれかの条件に該当し被災が予測できる箇所とした。

- (1) 護岸基礎が侵食され、根入れ不足が懸念される箇所（図-1）
 - 1) 護岸基礎部に洗掘による空洞の存在が懸念される場合（a,b）
 - 2) 上下流区域と比べて、水深が深いことが想定される場合（c）
 - 3) 護岸前面に設置された根固め工の移動、沈下が確認される場合（d）
- (2) 岩着基礎部が洗掘されている箇所（図-2）
- (3) 痕跡水位や土羽構造に侵食跡がみられ、過去の洪水で河川水位が護岸天端を超過していることが想定されるが、道路被災に至っていない箇所（図-3）

表-1 各河川の未被災箇所のカテゴリ

河川名	箇所数	(1)護岸基礎の侵食	(2)岩着基礎部の洗掘	(3)土羽構造に侵食跡
沙流川	2	1		1
飛騨川	5	4	1	
瀬野川	3			3
	10	5	1	4



図-1 根入れ不足が懸念される未被災箇所(a,b,c,d)



図-2 岩着基礎部の洗掘事例



図-3 土羽侵食跡が確認された未被災箇所の事例



図-4 被災復旧により天端まで被覆した事例

現地調査の結果、未被災箇所をそれぞれに生じた変状によって分類した結果を表-1に示す。護岸基礎の侵食や洗掘による被災件数は多いが、土羽構造の侵食によるものも確認された。洗掘による被災は点検作業等により状況の把握が可能であるが、土羽構造の侵食は局所的な水位の上昇に起因すると考えられ、これは平水時には判断しづらいものであるため、効率的なリスクの抽出方法が求められる。

そこで、土羽構造の侵食につながる局所的な水

位上昇の可能性の高い箇所を把握するため、水理解析に基づく被災リスクの分析を行うこととした。

なお、現地調査時には洪水流に伴う土羽構造の侵食以外にも、雨水排水による土羽構造の侵食が確認されており、土羽構造の侵食の被災復旧において天端まで被覆した事例を図-4に示す。今後は土羽構造の日常管理の観点からもこれらの箇所は点検時に注視すべき箇所となる。

3. 水理解析に基づく土羽部の侵食箇所での被災時水位の再現

3.1 水理解析の対象区間と手法

土羽構造の侵食の主要因として、洪水流の水際部の流速に着目し、湾曲部の内湾・外湾での水位差や河床形状に伴う偏流など、道路被災が発生した洪水時の平面的な流況を把握することを目的に、平面二次元流況解析を実施した。解析対象は、現地調査を実施した3河川における4区間である。

解析には無償で公開されているiRIC (<http://i-ric.org>) に搭載の非定常平面二次元流れおよび河床変動計算の解析用ソルバーNays2DH を用い、解析手法としては、検討対象の河道を河道線形に基づき一般座標系によりメッシュ分割し、解析メッシュに流入・流出する流量の変化に伴う水位の変化を面的に解析する手法とした。

3.2 被災時水位の再現による解析モデル上の流況

解析条件となる粗度係数及び流量は、既往資料を基に設定したが、土羽構造の侵食箇所での水位の再現性を高める必要があったため、収集した災害復旧図面などに記載されている被災時水位に対し設定値で再現が出来なかった場合は、粗度係数、流量の順で調整した。

解析結果の一例として、飛騨川の水位コンター図と流速ベクトル図（いずれも定常状態）をそれぞれ図-5、図-6に示す。なお、図中の護岸沿いの赤線は被災箇所を、緑線は未被災箇所を示したものである。

流速コンター図や流速ベクトル図から、湾曲部で流速の上昇傾向があり、道路の被災箇所とも整合的であることが判読できる。また、湾曲部では、外湾側の方が内湾側と比較し水位が高いとされている。これに対して本解析の算出水位を用いて内外の水位差を確認したところ、前述のような外湾側と内湾側の水位差を確認することができた。

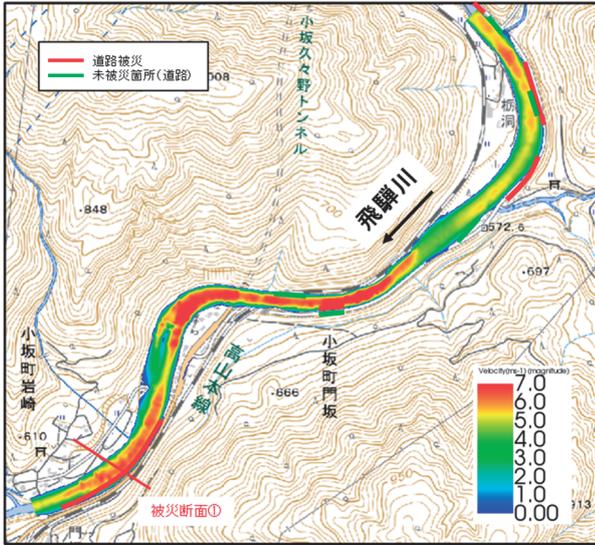


図-5 飛騨川門坂地区における流速コンター図

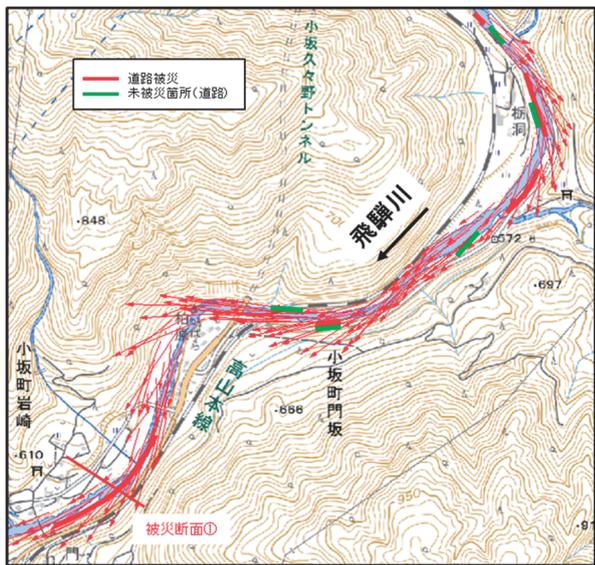


図-6 飛騨川門坂地区における流速ベクトル図

3.3 測量方法の相違による被災時水位の再現精度の比較

今回の検討では、道路被災箇所における水理現象を詳細に把握するため、ALB航空レーザ測量（以下「ALB」という。）のデータを用いた。

一般的な航空レーザ測量（以下「LP」という。）で使用する近赤外線レーザは、水に吸収又は水面で反射されるため川底の形状の計測に不向きであるのに対し、ALBで使用する緑色レーザは、水中を透過しやすい特性があり、水底と陸地の地形を捉えることが可能となる。

そこで、被災時水位の再現精度を比較すべく、飛騨川門坂地区を対象にALBとLPデータのそれぞれを基に、被災箇所での計算水位と被災時水位、地盤高を重ね合わせた横断面図を図-7に例示する。

その結果、水面下の形状が異なるため、計算水位に差異が生じるものの、ALBデータを使わなく

とも、LPデータを基に平面二次元流況解析でも土羽構造の侵食が発生するような水位が概ね得られることがわかった。

このように、道路管理者が洪水時の水位を把握して、被災リスクの高い箇所を一定の精度で抽出する目的においてはLPデータを基にした水理解析で十分把握できると考える。

4. 現場適用性を踏まえた被災リスクを有する箇所の抽出条件の検討

河川隣接区間における道路においては、前述のとおり被災のリスクが高い箇所を効率的に抽出できるようにすることが重要である。前章のとおり、水理解析は被災リスクの高い箇所の抽出に有効であることが確認できたが、河川隣接区間の全てで水理解析を行うことは現実的でない。

そこで、この結果を参考に、現場で容易に判断可能な、局所的に水位上昇する箇所の抽出条件について整理することとした。具体には、本解析結果から得られた流速と、河道諸元である、湾曲度（曲率半径R/川幅B）、進入角度、河床勾配、川幅との相関関係をグラフで整理し、護岸天端部の土羽部が侵

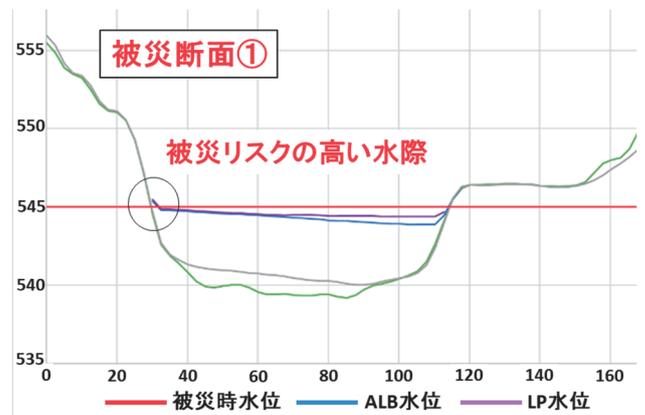


図-7 飛騨川門坂地区におけるALBとLPの比較

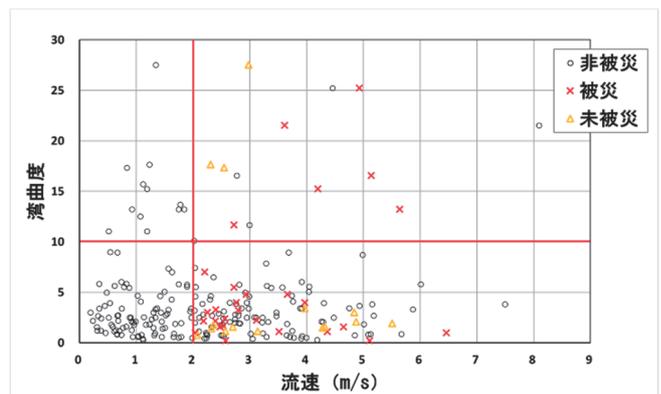


図-8 流速と湾曲度の相関関係（沙流川）

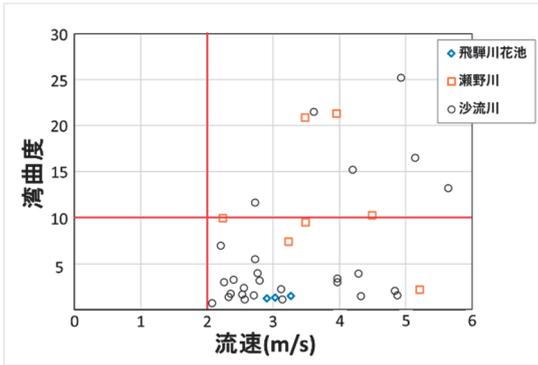


図-9 土羽侵食における流速と湾曲度の相関関係

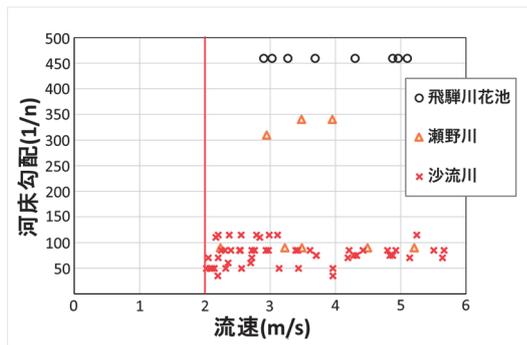


図-10 土羽侵食における流速と河床勾配の相関関係

食して道路被災が発生するリスクについて発生条件を抽出した。

図-8では、沙流川を例に流速と湾曲度の相関を表したものである。被災箇所、又は未被災箇所は流速2m/s以上であることと共に、現地固有の条件によりばらつきはあるものの多くは湾曲度が概ね10未満（「河道計画検討の手引き」（財）国土技術センター、2002.2）にて湾曲区間と整理される範囲）であることが確認できる。

そこで、3河川の土羽構造の侵食での被災箇所を対象に、同様の関係を図-9に示す。沙流川同様に流速2m/s以上、湾曲度10未満に概ね集まっていることが分かる。なお、流速に関しては、現地での確認が困難であるため、河床勾配で一定の判断が可能か判断することを目的に、それらの関係を整理した結

果を図-10に示す。この図より、比較的緩やかな河床勾配においても流速2m/s以上となる被災箇所があることが分かった。

この通り、土羽構造の侵食による道路被災のリスクの高い箇所の特徴といえる、湾曲度10未満は現地で容易に確認できるが、流速2m/s以上については、現地での確認が困難である。そこで、現地で確認できるその他の条件について、個々の被災箇所を河川平面図から判読した。その結果、水位が上昇しやすい箇所とされる、湾曲度が10未満の湾曲区間での外湾部、支川との合流点の下流側、堰等の河川内横断構造物の上流側、狭窄部の上流側で多く発生していることが確認できた。

ただし、非被災箇所との対比の面において、これら現地条件の適合性の検証は今後の検討課題である。

5. まとめ

本稿では、現地調査により河川護岸に隣接する道路土工構造物の被災形態の分類と、土羽構造を有する箇所における被災リスクの傾向について検討した。限られた河川を対象に検討した結果ではあるが、現場で比較的容易に判断できる土羽部侵食による道路被災のリスクが高い箇所の特徴について、水理解析と図面判読から得られた結果として、高水時の流速の判断は現場では困難であるものの、「湾曲度10未満の外湾部」、「支川との合流点の下流側」、「堰等の河川内横断構造物の上流側」、「狭窄部の上流側」という条件が現場での判断材料となり得ると考えられる。

洗掘などによる構造物の被災を軽減するためには、河川管理者との連携が重要になる。今後は、引き続き被災事例を収集しつつ、より予防的な検討を進め、より効率的な維持管理に繋がるよう分野横断的な研究を進めていきたい。

大津智明



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 主任研究官
OOTSU Tomoaki

北島大樹



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 交流研究員
KITAJIMA Hiroki

渡邊一弘



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室長
WATANABE Kazuhiro