

## レーザプロファイラデータを活用した高速道路に影響を与える溪流の危険度評価

## Trend Analysis in Mountain Streams Affecting Highways Using Laser Profiler Data

中村 淳<sup>1)</sup>, 柳迫 新吾<sup>2)</sup>, 中本 昌希<sup>3)</sup>, 村上 豊和<sup>4)</sup>

- 1) Jun NAKAMURA, 研究員, (株)高速道路総合技術研究所, j.nakamura.ac@ri-nexco.co.jp  
2) Shingo YANAGISAKO, 課長代理, 西日本高速道路エンジニアリング中国(株), s-yanagisako@w-e-chugoku.co.jp  
3) Masaki NAKAMOTO, 西日本高速道路エンジニアリング中国(株), m-nakamoto@w-e-chugoku.co.jp  
4) Toyokazu MURAKAMI, 主任研究員, (株)高速道路総合技術研究所, t.murakami.ac@ri-nexco.co.jp

平成 30 年 7 月豪雨では, 高速道路において主に対応してきた流域面積 1ha 以上の溪流のみではなく, 流域面積が 1ha 未満の小規模溪流からの土砂流入災害も確認された. 土砂流入災害が発生する可能性のある溪流は, 高速道路沿線に数多く存在することから, 現地詳細調査や対策工を行う溪流の優先度付けが必要となっている. ここでは, こうした課題に対し, 平成 30 年 7 月豪雨で崩壊が発生した溪流のレーザプロファイラデータから, 崩壊要因となる地形的特徴を整理し, 高速道路に影響を与える溪流の絞り込み方法や 1ha 未満の小規模溪流の危険度評価手法を検討した結果について報告する.

キーワード: 土砂流入災害, 危険度評価, 航空レーザ測量

(IGC : B-00)

## 1. はじめに

昨今, 自然災害が激甚化・頻発化<sup>1)</sup>するなか, 高速道路に対する道路区域外からの斜面崩壊や土石流災害(以下, 「土砂流入災害」という)は, 毎年のように報告されている<sup>2)</sup>. そのため, 災害発生前にその恐れのある溪流を抽出し, 現地を詳細に調査(以下, 「現地詳細調査」という)することで, 災害の兆候を素早く察知し必要な対策工を行うことが, 道路利用者の安全安心を確保する観点から重要である.

このような背景の中, 高速道路に影響を及ぼすと考えられる溪流は, 高速道路沿線に膨大にあることから, 村上ら<sup>3)</sup>は, 現地詳細調査を行う必要がある危険溪流を事前にある程度絞り込むため, 既往の調査資料に基づいて高速道路への影響度を評価し現地詳細調査の優先度付けを行う机上調査方法(以下, 「机上評価」という)の研究を行っており, 一部の高速道路では, これらの机上評価が実際に行われている. また, これらの考え方は, 土石流対策の手引き<sup>4)</sup>(以下, 「NEXCO 基準」という)にも記載されている. このように, 一部の高速道路において, これらの机上評価や現地詳細調査が進められているが, 新たな課題も生じている.

まず, 机上評価は, 「地形や地質による土石流の発生し易さ」や「高速道路と溪流の交差形状による被災のし易さ」に着目した検討手法であり, 「その 1: 高速道路と溪流の交差条件」「その 2: 土砂移動形態」「その 3: 地質特性」「その 4: 溪床勾配と発生流域面積」の 4 つの素因による評価項目の組み合わせにより, 溪流の危険度を 5 段階の危険度(カテゴリ[1]~[5])に分類するものである.

このカテゴリ[1]~[5]と過去の災害履歴との関連性について整理した結果, NEXCO 西日本中国支社管内の災害記録資料より, 溪流の場所が照合できた 13 溪流は全て上位カテゴリの[1][2]に該当したことから, カテゴリ[1][2]を土石流発生時の高速道路への影響度が高いとし, 優先的に現地詳細調査を行うこととしている<sup>4)</sup>. しかし, 机上評価の対象路線によっては, カテゴリ[1][2]が数多く抽出され, 現地詳細調査に多くの時間と費用を要している. また, 現地詳細調査を実施し, 対策優先溪流を選定しても, 高速道路供用後の維持管理段階で事業を進めるには対象数が多く, 更なる対策優先溪流の絞り込みが望まれている. なお, NEXCO 基準には, 図-1 に示す対策優先溪流の絞り込みの評価要素は示されているが, 確立されたものではなく, 参考扱いとなっている.

また, 現地詳細調査は, 現地踏査や空中写真, 地形図を活用しながら実施しているが, 溪流内の全範囲を踏査することは難しく, 空中写真を用いた場合も, 樹木やシダ植物が繁茂していると地形の把握が困難である. また地形図も, 比較的入手が容易な 1/5,000 森林基本図や 1/25,000 地形図, 数値標高モデル(5mDEM や 10mDEM)を用いており, 地形判読の精度向上が課題として挙げられる. そんな中, NEXCO3 会社では, 高速道路全線を対象に航空レーザプロファイラ調査が始まっており, 今後は, レーザプロファイラデータ(以下, 「LP データ」という)を活用することが可能となる. これら LP データの

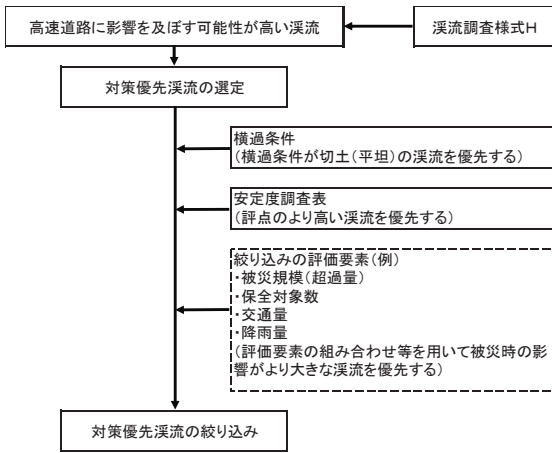


図-1 対策優先溪流の絞り込み<sup>4)5)</sup>

活用は、国土交通省の各地方整備局においても同様に研究<sup>6)</sup>が行われている。これらの研究は、地形判読がきめ細かくできるようになり、災害要因抽出精度が向上したことから、それらの地形判読結果を用いて災害危険箇所をスクリーニングする手法である。しかしながら、実際の災害発生箇所の抽出精度についての十分な評価は行われていない。このように、LP データを活用して溪流危険箇所を事前に把握する方法は、研究途上であり、未だ確立されていない状況にある。

そこで本研究では、土石流災害が発生した溪流(以下、「崩壊溪流」という)の LP データから、崩壊要因となる特徴を地形的特徴データとして整理することが出来れば、崩壊の可能性がある溪流を事前に抽出可能になると考え、LP データを用いて高速道路沿線の溪流危険箇所を絞り込む手法(以下、「本手法」という)を検討した。そのうち本報文では、近年、高速道路に甚大な被害をもたらした平成 30 年 7 月豪雨災害<sup>8)</sup>により崩壊溪流の影響を受けた高速道路路線を対象に、地形的特徴データを作成し、崩壊溪流を抽出可能か検証した結果について報告する。

また、平成 30 年 7 月豪雨災害<sup>8)</sup>では、NEXCO 基準の机上評価<sup>4)5)</sup>では対象外としている 1ha 未満の小規模溪流(以下、「小規模溪流」という)においても、土砂流入災害が発生した。今後も、小規模溪流からの土砂流入災害の発生は考えられることから、小規模溪流用の机上評価を検討した結果についても併せて報告する。

## 2. LP データを用いた崩壊区間の分割と地形的特徴データに用いる指標の整理

### 2.1 調査対象箇所

平成 30 年 7 月豪雨では、NEXCO 西日本中国支社管内の山陽自動車道(以下、「山陽道」という)および広島呉道路(以下、「広島道」という)において、土砂流入災害が発生し、災害後、LP データの取得が行われた。災害前の LP データは、NEXCO 西日本では所有していなかったことから、広島県砂防課よりご提供いただいたデータを使用している。本研究では、土石流災害が発生した高速

道路沿線の 40 溪流(山陽道 32 溪流、広島道 8 溪流)の崩壊に関する情報や崩壊前に有していた地形的特徴を LP データから抽出し、地形的特徴データを作成した。

### 2.2 崩壊区間の分割

地形的特徴データの作成にあたり、図-2 に示すとおり、災害後の LP データおよびオルソ画像から読み取った土砂移動範囲の輪郭のポリゴンデータを作成した(以下、「ポリゴンデータ」という)。続いて、図-3 に示すとおり、ポリゴンデータを、LP データや差分解析図等を基に、崩壊区間、流下区間、堆積区間に分割した。ここで、崩壊区間は、図-4(a)に示すとおり、平面的なくびれ形状や差分解析図より差分値がマイナスになる範囲を参考に分割した。また、堆積区間は、図-4(b)に示すとおり、差分解析図より差分値がプラスになる範囲とした。その結果、ポリゴンデータの分割数は、崩壊区間が 143 箇所、流下区間が 71 箇所、堆積区間が 54 箇所となった。地形的特徴データ作成には、崩壊区間の 143 箇所のデータを使用した。

### 2.3 崩壊に関する情報と地形情報の抽出

次に、崩壊要因を特定するため、崩壊後の LP データから面積や土砂量など崩壊に関する情報や災害前の LP データを基に、斜面勾配や集水面積、縦断・横断曲率など崩壊前に有していた地形的特徴を抽出した。具体的な作

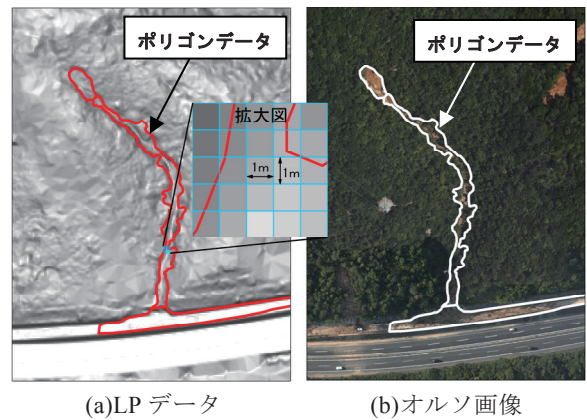


図-2 ポリゴンデータの作成例

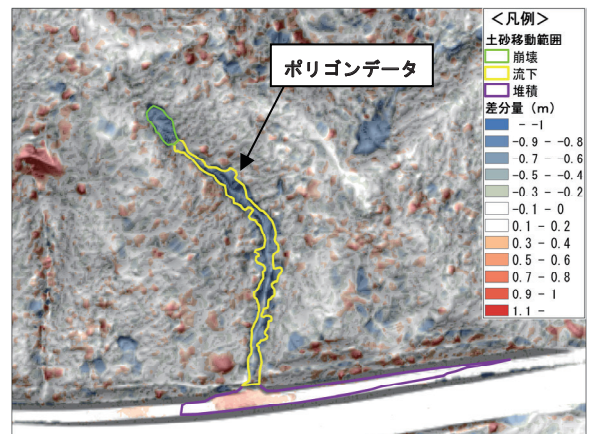


図-3 ポリゴンデータの分割例

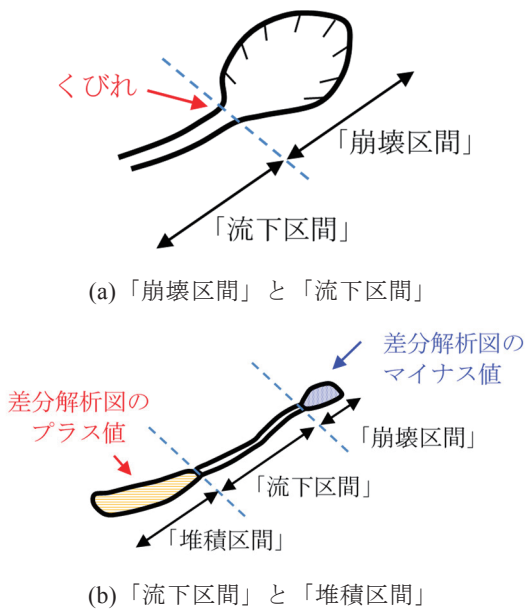


図-4 ポリゴンデータの分割方法

業としては、災害発生前と後の LP データにそれぞれポリゴンデータを反映し、崩壊区間を 1m メッシュで区切り、崩壊地の諸元として、崩壊区間のポリゴン内のメッシュ数、崩壊土砂量、集水面積、斜面勾配、縦断・横断曲率を抽出した。なお、崩壊区間内の地形的特徴データ抽出に用いたメッシュ数は、山陽道で約 750 万メッシュ (32 溪流)、広島道で約 52 万メッシュ (8 溪流) である。山陽道の各指標の整理結果を表-1 に示す。

また、各指標の算出方法を(1)~(5)に示す。なお、解析ソフトは、差分解析と地形量解析等は ArcGIS、縦断曲率と横断曲率の解析は Surfer を使用した。

(1) 崩壊面積

崩壊面積は、ArcGIS の演算機能を用いて、崩壊区域のポリゴン (以下、「崩壊ポリゴン」という) の面積 (m<sup>2</sup>) を算出した。

(2) 崩壊土砂量

崩壊土砂量は、崩壊ポリゴン内の崩壊前後の 1mDEM

の標高差分値 (高さ) と縦・横の長さ (1m) から体積を算出し、それらを合計し崩壊土砂量 (m<sup>3</sup>) とした。

(3) 斜面勾配

斜面勾配 (°) は、災害発生前の 1mDEM に対して、ArcGIS の傾斜角算出機能「Spatial Analyst (傾斜角)」ツールを用いて、崩壊ポリゴン毎に最大値、最小値、平均値、標準偏差を整理した。

算出方法の概要を図-5 及び式 (1) ~ (3) に示す。

傾斜角 (°) = ATAN((x 方向変化率<sup>2</sup>

$$+ y \text{ 方向変化率}^2)^{1/2} \times 180 / \pi \quad (1)$$

$$x \text{ 方向変化率} = ((c+2f+i)-(a+2d+g)) / (8 \times \text{cellsize}) \quad (2)$$

$$y \text{ 方向変化率} = ((g+2h+i)-(a+2b+c)) / (8 \times \text{cellsize}) \quad (3)$$

(4) 集水面積

集水面積は、災害発生前の 1mDEM に対して、ArcGIS の水文解析機能を用いて、累積流量を算出した。次に、累積流量と 1mDEM の縦・横の長さ (1m) から集水面積を算出し、崩壊ポリゴン毎に最大値、最小値、合計値、平均値、標準偏差を整理した。図-6 は図-2 内に示す拡大図 (5x5 メッシュ DEM データ) をモデル化したものである。図中の小数点を含む数字は各メッシュの標高を表し、矢印は隣接する周囲 8 方向メッシュとの高低差による流向を表している。また、整数のみの数字は、流向に沿って上流から下流へ流下する累積メッシュ数を表す。

集水面積 (m<sup>2</sup>) は、流入するメッシュ数の累積値にメッシュの単位面積 (1 m<sup>2</sup>) を乗じて算出した。

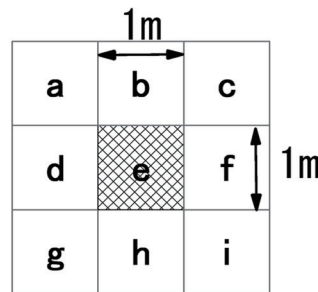


図-5 1mDEM のメッシュイメージ

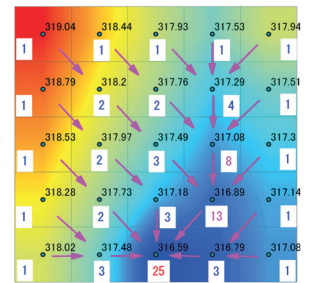


図-6 集水面積算出のイメージ

表-1 各指標の整理結果 (山陽道)

地形量	全体					崩壊区間					
	平均	中央	標準偏差	最大	最小	平均	中央	標準偏差	最大	最小	
集水面積 (m <sup>2</sup> )	81.60	3.00	1348.98	347602.00	0.00	118.36	8.00	651.77	19861.00	0.00	
斜面勾配 (°)	21.27	21.84	14.94	85.92	0.00	30.54	30.44	8.51	64.82	0.29	
縦断曲率	3m	0.00	0.00	0.15	18.04	-10.05	0.00	0.00	0.12	1.24	-0.76
	5m	0.00	0.00	0.03	0.76	-0.84	0.00	0.00	0.03	0.22	-0.12
	11m	0.00	0.00	0.02	0.29	-0.41	0.00	0.00	0.01	0.11	-0.06
	31m	0.00	0.00	0.01	0.10	-0.07	0.00	0.00	0.01	0.03	-0.02
	51m	0.00	0.00	0.00	0.04	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.02
横断曲率	3m	0.00	0.00	1.15	821.71	-343.67	0.05	0.02	0.40	8.00	-14.01
	5m	0.00	0.00	0.31	252.75	-179.57	0.05	0.04	0.11	2.86	-1.70
	11m	0.00	0.00	0.19	102.86	-234.93	0.05	0.04	0.07	2.14	-0.19
	31m	0.00	0.00	0.10	194.11	-169.96	0.02	0.02	0.03	0.35	-0.08
	51m	0.00	0.00	0.06	112.62	-125.72	0.01	0.01	0.02	1.23	-0.07

(5) 縦断・横断曲率

曲率は、地形の凸凹を表す指標として用いられる<sup>9)</sup>。縦断・横断曲率は、災害発生前の1mDEMに対して、マッピングプログラミングソフト（Surfer, Golden Software社）を用いて算出し、崩壊ポリゴン毎に最大値、最小値、平均値、標準偏差を整理した。なお、曲率の算出に当たっては、局所および大局的な地形を評価するため、算出延長3m～51mの範囲で設定した。図-7に曲率の概念を示す。

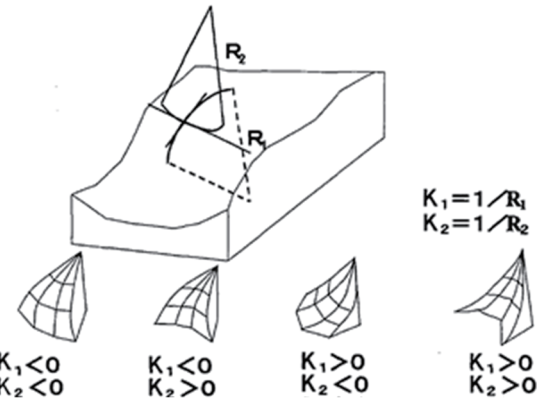


図-7 曲率の概念図 (K1: 縦断曲率, K2: 横断曲率)<sup>9)</sup>

3. 地形的特徴データの条件整理

第2章で整理した各指標を用いて、崩壊地の地形的特徴データの条件整理を行った。なお、地形的特徴データの条件は、パターン①～③を検討した。図-8, 9に地形的特徴データのイメージを示す。

(1) 地形的特徴データ①

崩壊範囲に分布する各指標の最小値～最大値を抽出する。数ある崩壊地全ての最小値と最大値から設定するため、崩壊と判定する範囲が多くなるが、抽出漏れが少なくなると想定される。

(2) 地形的特徴データ②

個々の崩壊地内に分布する指標の最小値と最大値の頻度割合分布からピークを含む範囲（5°ラウンド）を設定する。図-8に範囲の設定例を示す。最も有意な地形量を設定するため、絞り込みには有効であると考えられるが、地形的特徴データに使用した崩壊渓流でも、それが稀な場合は、抽出されない場合があることが想定される。

(3) 地形的特徴データ③

個々の崩壊範囲に分布する指標の値を組合せたものを抽出する。図-9に示すように、一定の範囲を設定しないため、各崩壊地の条件のいずれかに合致すれば抽出可能と想定される。

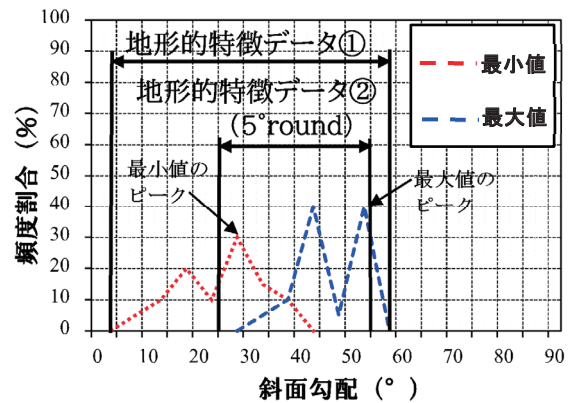


図-8 地形的特徴データ①, ②のイメージ (斜面勾配の例)

4. 地形的特徴データの検証

4.1 崩壊箇所の抽出精度の考察

表-2に地形的特徴データと検証データの関係性について示す。今回、地形的特徴データによる抽出結果の評価については、下記の崩壊抽出率および非崩壊抽出率を算出した。崩壊抽出率は、地形的特徴データを用いて実際の崩壊箇所を抽出できたメッシュの割合を示す。次に、非崩壊抽出率は、地形的特徴データを用いて実際の非崩壊箇所を抽出できたメッシュの割合を示す。

- ・崩壊抽出率 = (A/(A+B))\*100
- ・非崩壊抽出率 = (D/(C+D))\*100

ここで、(A)は実際に崩壊が発生しており、地形的特

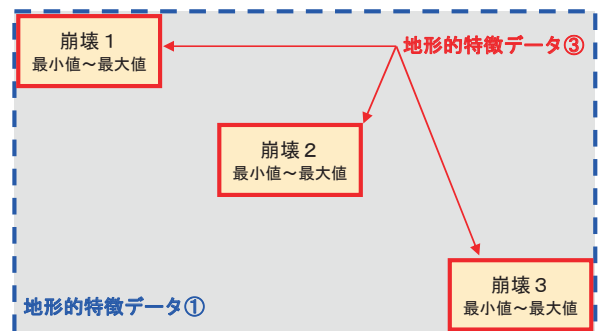


図-9 地形的特徴データ③のイメージ (斜面勾配の例)

徴データでも崩壊と抽出したメッシュ数、(B)は実際に崩壊が発生しているが、地形的特徴データでは、非崩壊と抽出したメッシュ数、(C)は実際には非崩壊であるが、地形的特徴データでは、崩壊と抽出したメッシュ数、(D)は、実際に非崩壊であり、地形的特徴データでも非崩壊として抽出したメッシュ数をいう。

4.2 検証データによる適用結果

第3章で設定した地形的特徴データを、検証データに適用した結果を、表-3～5に示す。検証用渓流は、地形的特徴データに用いた40渓流とは別に、山陽道12渓流と広島道9渓流の計21渓流を用いた。検証対象メッシュ数は、3,914,450メッシュである。

表-2 地形的特徴データと検証データの関係

		地形的特徴データによる抽出結果	
		崩壊	非崩壊
検証データの抽出結果	崩壊	崩壊抽出可(A)	崩壊抽出不可(B)
	非崩壊	過剰抽出(C)	非崩壊抽出可(D)

表-3 検証対象メッシュ数 (山陽道)

		データ	地形的特徴データによる抽出結果	
			崩壊メッシュ	非崩壊メッシュ
検証データの抽出結果	崩壊メッシュ	①	15,302	25
		②	1,526	13,801
		③	14,732	595
	非崩壊メッシュ	①	3,401,744	497,379
		②	70,483	3,828,640
		③	2,286,338	1,612,785

表-4 検証結果 (山陽道)

	地形的特徴データ		
	①	②	③
崩壊抽出率	99.8%	10.0%	96.1%
非崩壊抽出率	12.8%	98.2%	41.4%

表-5 検証結果 (広島道)

	地形的特徴データ		
	①	②	③
崩壊抽出率	89.5%	12.6%	42.2%
非崩壊抽出率	42.0%	93.7%	79.1%

(1) 地形的特徴データ①

山陽道の検証データでは、崩壊抽出率は、99.8%と高い結果となった。一方、非崩壊抽出率は12.8%と低い。この傾向は、広島道でも近い傾向であった。これは、数ある崩壊地全ての地形量の最大値と最小値から地形的特徴データを設定するため、崩壊と判定する地形量の範囲が大きくなるためと推測される。

(2) 地形的特徴データ②

山陽道の検証データでは、崩壊抽出率は、10.0%と低い結果となった。但し、非崩壊抽出率は、98.2%と高い結果であった。この傾向は、広島道でも同様である。このように、崩壊箇所の抽出率は低いが、崩壊しなかった箇所の抽出率は高い結果となった。

(3) 地形的特徴データ③

山陽道の検証データでは、崩壊抽出率は、96.1%と高い結果となった。地形的特徴データ①の崩壊抽出率を僅かに下回るが、地形的特徴データ①に比べ非崩壊抽出率は、

41.4%と高い値を示した。広島道は、崩壊抽出率は、42.2%であった。

この結果から、今回検討した3パターンのなかでは、地形的特徴データ③が、最も災害発生箇所の地形的特徴を捉えることが出来ているものと考えられる。

5. 地形的特徴データを活用した対策および現地詳細調査優先溪流の絞り込み検討

第4章では、メッシュ単位での検証を行ったが、危険度評価や現地調査優先溪流の絞り込みは溪流単位で行うため、ここでは、地形的特徴データ③の検討結果を基に、メッシュ単位から溪流単位での評価を行った。検証データは、地形的特徴データに使用した40溪流と検証データに使用した21溪流に非崩壊溪流のデータ20溪流を加え、計81溪流で行った。路線別の内訳は、山陽道58溪流(崩壊:44溪流, 非崩壊:14溪流)、広島道23溪流(崩壊:17溪流, 非崩壊:6溪流)である。ここでは、個々の溪流の流域面積に対して、地形的特徴データより崩壊として抽出した面積の割合(「[地形的特徴データ③による崩壊抽出メッシュ数]/[溪流の全メッシュ数]\*100」)を崩壊抽出面積率S(%) (以下、「崩壊抽出面積率」として算出し、崩壊溪流と非崩壊溪流との関係を整理した。図-10, 11に崩壊抽出面積率と崩壊溪流・非崩壊溪流の関係を示す。

図-10に示すとおり、山陽道の崩壊溪流では、崩壊抽出面積率が、41%~60%の区分に該当する割合が最も多い。なお、崩壊溪流のなかで最も小さな崩壊抽出面積率

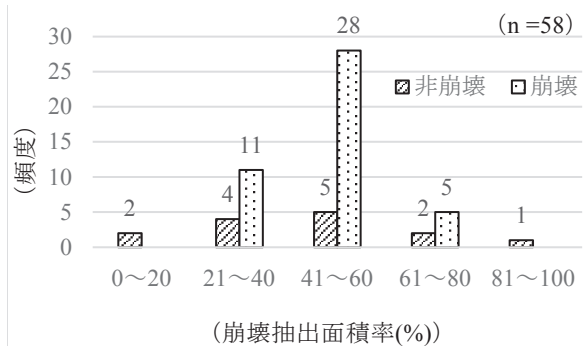


図-10 崩壊抽出面積率の頻度分布 (山陽道)

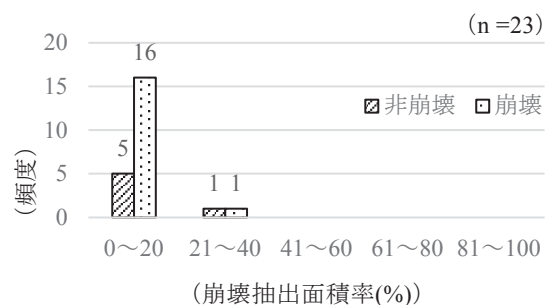


図-11 崩壊抽出面積率の頻度分布 (広島道)

は、31%であり、30%以下は存在しなかった。このことから、崩壊抽出面積率が3割を超えると崩壊の危険度が高くなる可能性があり、優先度付けの閾値とできる可能性がある。次に、図-11に示すとおり、広島道の崩壊渓流では、崩壊抽出面積率20%以下が9割以上を占め、山陽道と比較するとかなり低い崩壊抽出面積率となっている。なお、崩壊渓流のなかで最も小さな崩壊抽出面積率は、6%であった。このように、広島道では、山陽道ほど崩壊抽出面積率と崩壊渓流の関係に明確な傾向を示さなかった。

## 6. 小規模渓流の危険度評価手法の検討

ここまでは、過去に土石流が発生した渓流の地形的特徴を地形的特徴データとして作成し、LPデータを用いて崩壊発生前に危険な渓流を抽出する手法について検討してきた。ここでは、土石流発生時に、流出土砂が高速道路路上に与える影響度から評価する高速道路横過条件や地質特性を加えて、LPデータから取得したデータを活用しながら、机上評価により小規模渓流の危険度評価を行う手法について報告する。

NEXCO 基準<sup>45)</sup>の机上評価は、流域面積1ha以上の渓流を対象とし、高速道路の横過条件、土砂移動形態、地質条件および発生流域面積による渓流危険度評価を行っている。一方、写真-1に示すとおり、平成30年7月豪雨などでは、小規模渓流からの被災事例も確認されている。しかし1ha以上の渓流のような渓流危険度評価<sup>45)</sup>は確立されていない状況にある。

そこで、小規模渓流の多くは高速道路の背後に位置する急勾配で流域面積が小さい渓流であることを踏まえLPデータを活用し地形的素因特性に着目した小規模渓流の危険度評価手法を検討した。

### 6.1 対象小規模渓流および小規模渓流諸元の整理

表-6に検討対象とした小規模渓流諸元を示す。被災事例は小規模渓流における全国の高速道路および一般道への土砂流入災害13事例であり、このうち5事例(No.9~13)は平成30年7月豪雨により広島県内の高速道路で発生したものである。また、崩壊渓流との比較のために、平成30年7月豪雨による崩壊渓流の近傍で、災害が未発生であった小規模渓流11箇所(No.14~24)についても整理を行った。図-12に渓流諸元整理の概念図を示す。渓流諸元は、被災前のDEMデータが入手可能であった箇所は、GISにより整理した。被災前のDEMデータが入手できない箇所は、災害当時の地形図などから30°以上の斜面の項目以外の各諸元を読み取った。

#### (1) 流域面積(ha)

GIS上で流域界を整理し、その面積を取得した。

#### (2) 主溪流長(m)

GIS上で溪流線を整理し、その延長を取得した。

#### (3) 平均渓床勾配(°)

溪流線の両端点の比高(m)をGIS上で取得し、比高/溪流長より算出した。

#### (4) 最急渓床勾配(°)

DEMデータに対し、ArcGISの機能である「Spatial Analyst(傾斜角)」ツールによる傾斜角(°)を算出し、溪流上に位置するDEMデータのなかで最も大きい傾斜角を取得した。

#### (5) 30°以上の斜面

DEMデータに対し、ArcGISの機能である「Spatial Analyst(傾斜角)」ツールによる傾斜角(°)を算出し、傾斜角が30°以上となるデータを抽出する。そのデータから、30°以上の斜面の面積(ha)を合計し算出した。

また、30°以上の斜面の面積率S(%)は、[30°以上の面積]/[流域面積]として算出した。

また、村上ら<sup>3)</sup>による「高速道路横過条件」および「地質特性」についても整理した。その結果、崩壊した小規模渓流の高速道路横過条件はすべて「切土」であり、地質は「花崗岩類」が最も多い結果となった。

### 6.2 小規模渓流の現地調査

小規模渓流の土石流発生状況を確認するため、平成30年7月豪雨により土砂流入災害の発生した3箇所とその近傍で災害の発生していない2箇所の現地踏査を実施した。未崩壊の小規模渓流では、図-13および写真-2に示すとおり、谷が全体的に浅く、明瞭に谷地形を呈しておらず主流路沿いにも顕著な侵食跡は確認されなかった。崩壊した小規模渓流では、図-14および写真-3に示すとおり、崩壊地は谷地形を示す。図-14は、崩壊前の地形図であるが、谷地形であることが確認できる。



写真-1 平成30年7月豪雨での小規模渓流の崩壊状況

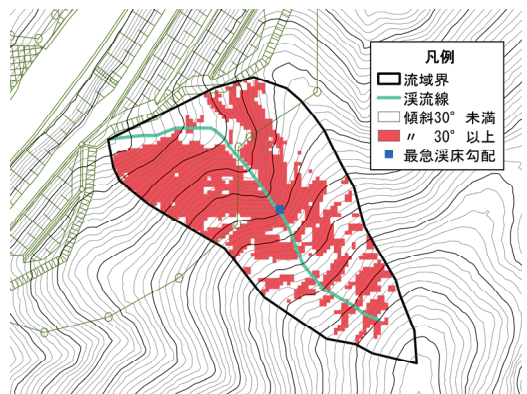


図-12 平成30年7月豪雨での小規模渓流の崩壊

このように、崩壊地と未崩壊地を比較すると、未崩壊地は全体的に谷が浅く、明瞭な谷地形を呈しておらず顕

著な侵食跡も確認されなかったことから、谷部に沢水が集中せず崩壊に至らなかったと想定された。

表-6 検討に用いた小規模溪流諸元一覧表

No	災害	DEMデータ	流域面積 (ha)	主溪流長 (m)	平均溪床勾配 (°)	最急溪床勾配 (°)	30°以上の斜面		高速道路横過条件	地質			
							面積 (ha)	面積率 (%)					
1	無し	無し	0.50	100	29	35	-	-	-	堆積岩類			
2			0.90	170	26	35				火山噴出物			
3			0.80	180	18	27				花崗岩類			
4			0.30	70	36	36				堆積岩			
5			0.57	127	34	39				流紋岩類			
6			0.84	135	38	39				花崗岩類			
7	有り	有り	0.13	44	35	39	0.09	74.0	切土	堆積岩			
8			0.28	73	33	43	0.19	67.3		流紋岩類			
9			0.94	224	18	53	0.39	41.7		花崗岩類			
10			0.77	287	16	39	0.16	20.7					
11			0.44	112	31	57	0.29	66.6					
12			0.45	112	33	48	0.34	75.1					
13			0.33	101	27	48	0.18	55.4					
14			0.80	101	11	26	0.18	22.5					
15			無し	有り	0.89	225	12	44		0.33	37.3	盛土	流紋岩類
16					0.57	100	10	31		0.03	5.3	切土	花崗岩類
17					0.89	93	9	21		0.03	3.9	盛土	
18					0.47	152	27	43		0.21	44.6	切土	
19	0.89	160			24	39	0.39	43.4	切土				
20	0.36	120			20	44	0.07	19.7	橋梁				
21	0.92	163			22	43	0.39	42.7	切土				
22	0.65	129			28	44	0.45	68.6					
23	無し	有り			0.39	91	26	46	0.25	63.4	盛土	花崗岩類	
24					0.47	124	28	39	0.28	59.6			

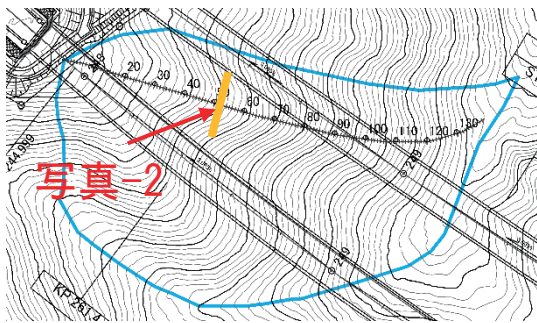


図-13 谷地形の状況(写真-2の沢)



図-14 谷地形の状況(写真-3の沢)

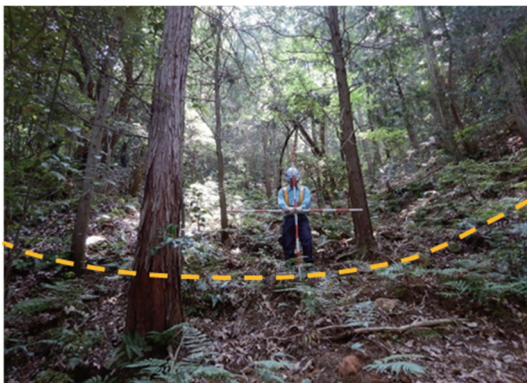


写真-2 未崩壊の小規模溪流の現地調査箇所



写真-3 崩壊した小規模溪流の現地調査箇所

### 6.3 地形的特徴の整理

崩壊渓流の地形的特徴として、谷の深さ、谷密度、 $30^\circ$ 以上の斜面の面積、最急渓床勾配と平均渓床勾配に着目して検討を行った。

#### (1) 谷の深さ

NEXCO 基準では、図-15 に示すとおり谷地形は谷幅  $a$  と奥行き  $b$  として、「 $a > b$  ならば 0 次谷」, 「 $a < b$  ならば 1 次谷」に区分される。谷の深さ( $b/a$ )が大きくなるほど水が集まりやすく、崩壊の危険性が高まると仮定し、傾向を分析した。

#### (2) 谷密度

谷密度<sup>10)</sup>は「水系総延長(km)／流域面積(km<sup>2</sup>)」であらわされる指標であり、内田ら<sup>11)</sup>は、谷密度の大小が透水性の高い表層土の分布に寄与し、表層崩壊の発生し易さに影響するとしている。LP データより、谷密度を算出し傾向を分析した。

#### (3) $30^\circ$ 以上の斜面の面積

道路防災点検の手引き<sup>12)</sup>では、安定度調査票(土石流)に斜面の特性として、「斜面勾配が  $30^\circ$  以上の斜面の面積」を評価する項目がある。小規模渓流においても、この評価を採用できると考え傾向を分析した。

### 6.4 地形的特徴による高速道路への影響区分

#### (1) 谷の深さ

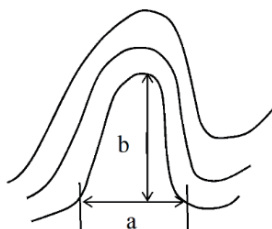
図-16 に最急渓床勾配と谷の深さ( $b/a$ )の関係を示す。なお、図-16 にプロットした谷の深さ( $b/a$ )は、崩壊小規模渓流は崩壊地の平均とし、未崩壊小規模渓流は渓流全体の平均値とした。

崩壊渓流と近傍の未崩壊渓流の谷の深さ( $b/a$ )を比較した場合、崩壊渓流が未崩壊渓流よりも高くなる場合も確認できたが、逆に崩壊渓流の谷の深さ( $b/a$ )が低くなる場合もあり、明確な傾向は確認できなかった。

しかし、谷の深さ( $b/a$ )と最急渓床勾配を組み合わせると、崩壊渓流と未崩壊渓流がある程度区分できる可能性があることも示した。

#### (2) 谷密度

図-17 に最急渓床勾配と谷密度の関係を示す。崩壊渓流が未崩壊渓流よりも谷密度が高い傾向が見られた。NEXCO 西日本中国支社管内の小規模渓流(912 渓流)の谷密度の平均値は 22.8 であり、今回検証した崩壊渓流では、この値を上回るものが多くあるが、 $\pm 1\sigma$  の範囲に収まるものがほとんどであり、特異な傾向でない可能性もある。



$a > b$  ならば 0 次谷,  $a < b$  ならば 1 次谷と呼ぶ

図-15 谷地形の判定方法

図-18 に平均渓床勾配  $\theta$  における階級別の災害発生件数を示す。災害は  $\theta \geq 15^\circ$  から発生している。また、 $\theta \geq 30^\circ$  で発生件数全体の 5 割以上を占める。図-19 に最急渓床勾配  $\theta'$  における階級別の災害発生件数を示す。災害は  $\theta' \geq 25^\circ$  から発生している。また、 $\theta' \geq 35^\circ$  での発生件数は 12 件となり、これは発生件数全体の 9 割以上を占める。

以上のことから、図-20 に示すように最急渓床勾配および平均渓床勾配の組合せを「渓流特性」とし、影響度評価を区分した。ランク A は各勾配において発生件数の半数以上を含む範囲とし、「特に影響が大きい」評価とした。ランク B は各勾配において災害の発生している範囲とし、「影響が大きい」と評価した。ランク C は、災害の発生していない範囲とし、「影響はほとんどない」とした。なお、この区分によると未発生箇所は全てランク B, C に区分される。

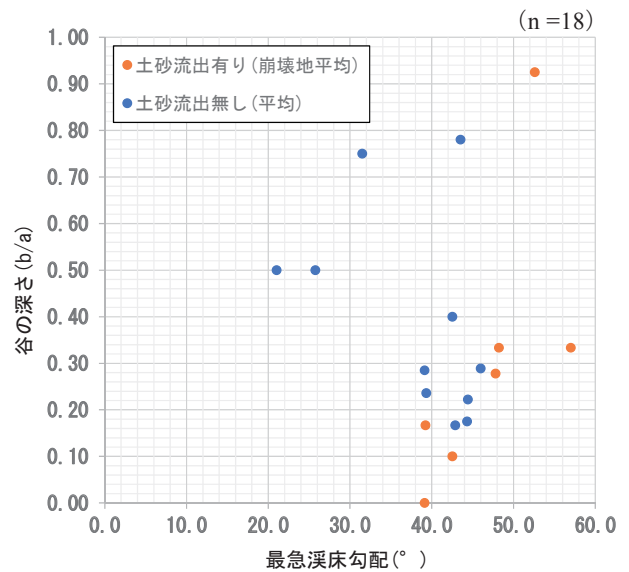


図-16 最急渓床勾配と谷の深さ( $b/a$ )の関係

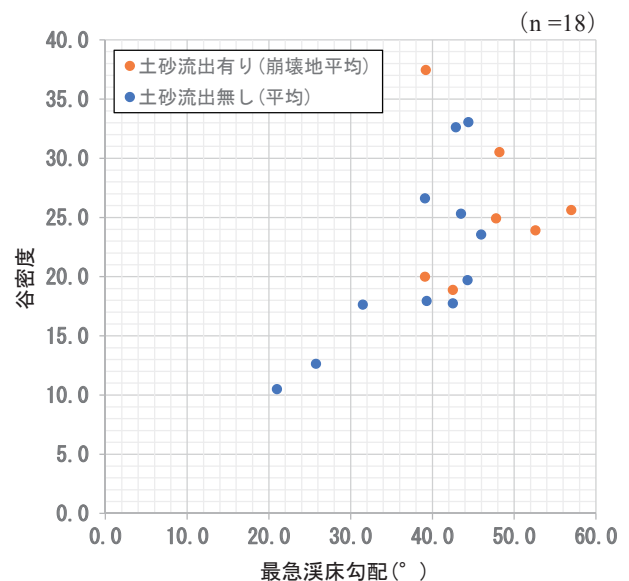


図-17 最急渓床勾配と谷密度の関係



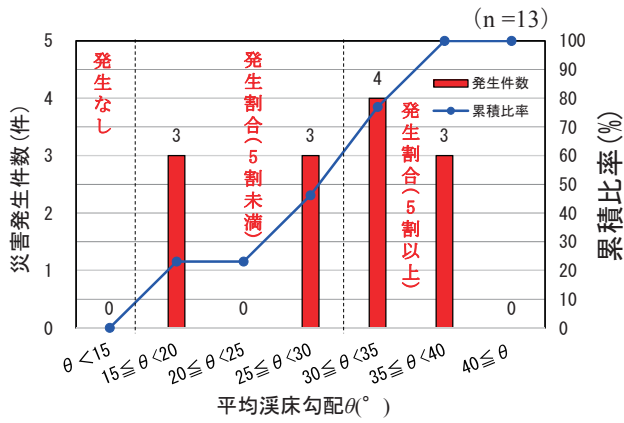


図-18 平均溪床勾配と災害発生件数の関係

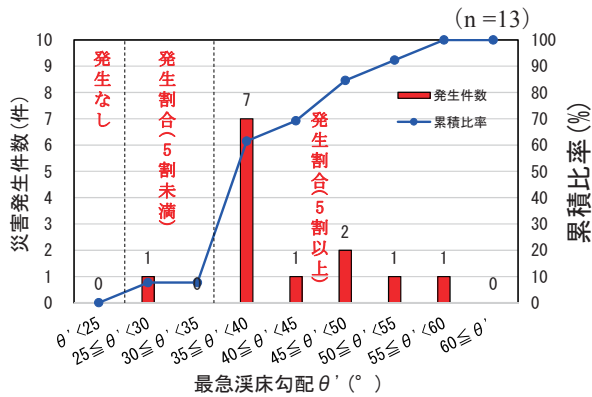


図-19 最急溪床勾配と災害発生件数の関係

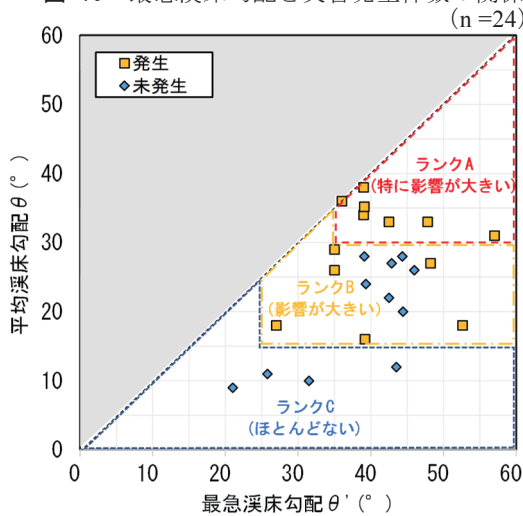


図-20 最急溪床勾配と平均溪床勾配の関係

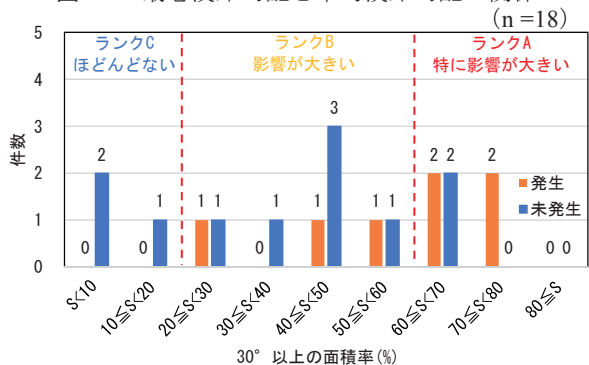


図-21 30°以上の面積率と災害発生件数の関係

図-21 に 30°以上の斜面の面積率 S における階級別の災害発生および未発生の件数を示す. 30°以上の斜面の面積率 S(%)は、 $[30^\circ \text{以上の面積}] / [\text{流域面積}]$ であり、発生件数に着目すると、災害は  $S \geq 20\%$  から発生している. また、 $S \geq 60\%$  では発生件数は 4 件となり、これは発生件数全体の 7 割以上を占める. 一方で、未発生溪流において  $S \geq 50\%$  となる溪流は 3 箇所となり、全体の 3 割以下である. 以上のことから、30°以上の斜面の面積率 S を「斜面特性」とし高速道路への影響度評価をランク A～C の 3 段階に区分した. ランク A は発生件数が半数以上で未発生割合の少ない範囲とし「特に影響が大きい」評価とした. ランク B は災害の発生している範囲とし、「影響が大きい」と評価した. ランク C は、災害の発生していない範囲とし、「影響はほとんどない」とした.

### 6.5 小規模溪流の危険度評価

村上ら<sup>3)</sup>は、溪流主流路と高速道路が交差する地点の横断構造を、切土や盛土などに区分し影響度を評価した「高速道路横過条件」や、地質別に影響度を評価した「地質特性」を検査している. 横断構造や地質特性による評価は、溪流の流域規模に影響される項目ではないことから適用可能であるといえる. よって、これらの項目に加え、前述した「溪流特性」と「斜面特性」を評価項目とし、表-7 のように評価項目を整理した. さらに、表-8 に示す観点で評価項目の影響度区分の組合せを作成し、DEM データによる諸元整理のできた事例についてカテゴリ区分を行った. カテゴリ区分は[1]⇒[2]⇒[3]⇒[4]の順番で高速道路への影響度が高くなる. 災害発生事例は、全てカテゴリ[1]または[2]に区分された.

本検討では、1ha 以上の溪流危険度評価である、「横過条件」、「地質条件」に加え、小規模溪流の影響度区分として、平均溪床勾配と最急溪床勾配の組合せを指標とした「溪流特性」および、流域内における 30°以上の斜面の面積率 S を指標とした「斜面特性」を整理した. また、危険度評価の検討を行い、災害の発生した溪流は全てカテゴリ[1]または[2]に区分されるため、小規模溪流の詳細調査箇所を抽出できる可能性がある.

今後は、新たに発生した小規模溪流の災害に対して、検討した危険度評価を適用し、その精度を確認すると共に、被災事例データを蓄積し評価項目の精度向上に繋げていきたい.


## 7. まとめ

近年、高速道路に甚大な被害をもたらした平成 30 年 7 月豪雨災害により崩壊溪流の影響を受けた高速道路路線を対象に、LP データから地形的特徴データを作成し、崩壊溪流を抽出する方法を検討した. また、LP データを活用した 1ha 未満の小規模溪流用の机上評価手法も併せて検討した. その検討結果を以下に示す.

表-7 小規模溪流の評価項目

評価項目		評価の観点	影響度区分
			大⇄小
項目①	高速道路横過条件 <sup>3)</sup>	土石流発生時に、流出土砂が高速道路上に氾濫、堆積すると想定される場合、高速道路への影響度が大きい。	I → II → III → IV
項目②	地質特性 <sup>3)</sup>	土石流の発生頻度の高い地質ほど高速道路への影響度が大きい。	3 → 2 → 1 → 0
項目③	溪流特性(最急溪床勾配, 平均溪床勾配)	最急溪床勾配と平均溪床勾配がより急なほど高速道路への影響度が大きい。	A, B, C
項目④	斜面特性(30°以上の面積率)	溪流内の流域面積のうち、斜面勾配30°以上の面積が占める割合が大きいほど高速道路への影響度が大きい。	A, B, C

表-8 小規模溪流のカテゴリー区分

カテゴリー区分	観点	高速道路横過条件	地質特性	溪流特性	斜面特性	高速道路への影響度
カテゴリー[1]	全ての項目において最上位ランクの評価	I	3	A	A	 高い
カテゴリー[2]	全ての項目において、影響度区分が上位2ランク以上の評価(カテゴリー[1]を除く)	I	3	A	B	
		I	3	B	A, B	
		I	2	A, B	A, B	
		II	3, 2	A, B	A, B	
カテゴリー[3]	高速道路横過条件の影響度区分がII以上且つ地質特性が1, 0もしくは溪流特性と斜面特性のいずれかがC	I, II	3, 2, 1, 0	A, B, C	C	
		I, II	3, 2, 1, 0	C	A, B	
		I, II	1, 0	A, B	A, B	
カテゴリー[4]	高速道路横過条件がIIIもしくはIV	III	3, 2, 1, 0	A, B, C	A, B, C	
		IV	3, 2, 1, 0	A, B, C	A, B, C	
						低い

- (1) 土石流の発生した溪流の地形的特徴を LP データにより抽出し、崩壊が発生する条件を地形的特徴データとして整理した。その結果、個々の崩壊範囲に分布する指標の値を組合せたもので抽出すると、山陽道では抽出率が 96.1%、非崩壊の中率が 41.4%であった。この結果から、今回検討した 3 パターンのなかでは、「地形的特徴データ③」が、最も災害発生箇所の地形的特徴を捉えることが出来ているものと考えられる。
- (2) (1)は、メッシュ単位での検証であるが、「地形的特徴データ③」を用いて、メッシュ単位から溪流単位の崩壊抽出面積率での評価を行った。その結果、山陽道の崩壊溪流では、崩壊と抽出した面積率が、41%~60%の区分に該当する割合が最も多かった。なお、崩壊溪流のうち最も小さい崩壊抽出面積率は、31%であり、30%以下は存在しなかった。このことから、全体の流域面積に対し、崩壊と抽出した面積率が3割を超えると崩壊の危険度が高くなる可能性があり、現地詳細調査や対策優先溪流の絞り込みの一つとして適用できる可能性を示した。
- (3) 小規模溪流(1ha 未満)の詳細現地調査の優先度を設定することが可能な既往資料や LP データを活用した小規模溪流危険評価手法を検討し、4 段階の危険度に分類した。また、その結果を高速道路での小規模溪流(1ha 未満)の災害履歴と比較すると、全ての災害がカテゴリー[1], [2]に該当する結果となった。このことから、検討した小規模溪流(1ha 未満)の机上評価手法は、高速道路沿線の小規模溪流(1ha 未

満)を対象とした現地詳細調査箇所の抽出ができる可能性がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、災害記録資料や LP データの提供、現地調査に際しては、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)の担当社員、広島県 砂防課 土砂法指定推進担当の皆様にご協力を頂いた。記して、感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 内閣府：令和 3 年度版防災白書，  
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r03/>，  
(参照 2022.09.22 参照)。
- 2) 村上豊和，久田裕史，柳迫新吾，下野宗彦：高速道路における土砂流入災害の傾向分析と土砂流入を防止した落石防護工の事例報告，地盤と建設，Vol.39, No.1, pp.103-112, 2021。
- 3) 村上豊和，下野宗彦，中田幸男：高速道路に影響を与える土石流危険溪流の資料調査に基づく評価手法，地盤と建設，Vol.34, No.1, pp.19-27, 2016。
- 4) 中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)：土石流対策の手引き，2017。
- 5) 東日本高速道路(株)：土石流対策のガイドライン，2017。
- 6) 山内聡：LP(レーザプロファイラ)データを活用した道路沿線斜面の潜在的災害経験箇所の把握の高度化について，令和 2 年度九州国土交通研究会，

- [http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/file/n-shiryo/R2kenkyu/2\\_09\(54\).pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-shiryo/R2kenkyu/2_09(54).pdf),  
(参照 2022.2.10).
- 7) 萬治太郎, 服部辰典, 柿内雅史: LP 調査を活用した新たな危険箇所把握, 令和 3 年度 四国地方整備局管内技術・業務研究発表会,  
<https://www.skr.mlit.go.jp/kikaku/kenkyu/r3/ronbun/I-77.pdf>,  
(参照:2022.2.10).
- 8) 国土交通省: 平成 30 年 7 月豪雨について,  
<https://www.mlit.go.jp/common/001248491.pdf>,  
(参照 2022.09.22).
- 9) 内田太郎, 片岡正次郎, 岩尾忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信男: 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合技術研究所資料, No.204, pp.1-91.2004.
- 10) 木下博久, 長谷川修一, 野々村敦子, 山中稔: 谷密度を指標とした流域スケールにおける斜面崩壊危険度評価手法の検討, 応用地質, 第 59 巻, 第 6 号, pp.472-484, 2019.
- 11) 内田純二, 長谷川修一, 野々村敦子, 大寺正宏: 谷密度を用いた溪流危険度評価, 土木学会第 66 回年次学術講演会, III-297, pp593-594, 2011.
- 12) 財団法人道路保全技術センター: 道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等), 2007.

(2022 年 6 月 10 日 受付)

