

高標高山岳道路斜面における落石・崩壊特性の検討事例 A Case Study on Characteristics of Rockfalls and Collapses on Slopes along High-Altitude Mountain Road

津田普輝¹，居川信之²，沢田和秀³

- 1 (株)エイト日本技術開発・地質防災事業部・tsuda-hi@ej-hds.co.jp
- 2 (株)エイト日本技術開発中部支社・日本自動車道(株)
- 3 岐阜大学・インフラマネジメント技術研究センター

概 要

降雪が多く植生の乏しい高標高山岳道路における落石・崩壊の発生特性について、道路管理記録（災害記録）を用いて分析を行った結果について報告する。対象とした路線は、岐阜県-滋賀県境に位置する一般自動車道伊吹山ドライブウェイである。同路線を含む伊吹山一帯では近年、厳しい気象条件に加えシカの食害による斜面の裸地化に起因する土砂災害が頻発しており、登山道の閉鎖、景観の悪化、下方集落や農業施設への土砂流入の頻発等、深刻な社会問題となっている。本研究では、同路線沿いの斜面で発生した落石・崩壊について、発生箇所の地形特性、降雨・降雪による経年的な地形変化、野生動物の直接・間接的な影響等、複合的な要因を踏まえて分析し、その特性について考察した。

キーワード：山岳道路，落石，地形変化，野生動物

1. はじめに

日本は、国土の約75%を山地・丘陵地が占めており、地質、地形等の条件が素因となり、発生する土砂災害が多い。中でも斜面災害の一種である落石は、局所的・突発的に発生する災害であり、山岳道路では主要な災害である。しかし、発生形態や発生原因が多岐にわたり、路線全体に対策を講じることは難しい。適切な対策を講じるためには、落石・崩壊の特性を把握する必要がある。

本報告では、岐阜県-滋賀県境に位置する一般自動車道伊吹山ドライブウェイを対象に、2007年～2023年の17年間の管理記録を用いて落石データに関する検討を実施した。

伊吹山ドライブウェイは、総延長約17kmで、最高地点と最低地点の標高差は約1000mである。また、ほぼ全線で切土・盛土のり面や急峻な自然斜面が連続する傾斜の厳しい山岳道路である。当路線が存在する伊吹山は周辺の山々と比較して標高が高く、特に冬季には若狭湾からの季節風の影響を受けるために、毎年5mを超える積雪量を記録する豪雪地帯である。そのため、11月中旬～4月中旬は通行止めとなる。また、道路高標高部に隣接する斜面では2019年以降ガリー浸食や裸地化が深刻化している。

2. 道路管理記録

本事例で用いた落石データは、道路管理者が日常パトロールにおいて記録した落石発生状況のデータを使用する。日常パトロールの際の記録項目は発見日時、天候、落石が観測された距離(km)、落石の種類(1～6種)、推定される落石原因の5要素である。本データにおける落石とは、落石現象そのものではなく、道路上で確認された落下後の岩塊を指す。そのため、落石原因も推定とされており、①動物による(と推察される)もの②降雨によるもの③その他に分類されて記録されている。しかし、③その他のサンプル数は他と比較しても少なく、原因もあいまいであることから、本事例では使用しないこととした。確認された落石の種類は、以下の寸法に従い、発見した管理者により分類されている。¹⁾

- 1種：こぶし大1～2個(10cm×10cm×10cm未満)
- 2種：こぶし大3個以上(20cm×20cm×20cm未満)
- 3種：人頭大(30cm×30cm×30cm未満)
- 4種：人頭大より大きいもの(40cm×40cm×40cm未満)
- 5種：一人で動かせない(50cm×50cm×50cm未満)
- 6種：岩盤崩落

2.1 落石発生個数の推移

落石発生個数の推移と開通期間の累積降水量(4月～11月の期間)の関係を図1に示す。グラフ内の累積降水量は付近にある関ヶ原観測所のデータを使用した。落石発生個数においては、2016年以降落石発生個数は右肩上がりに増加しているものの降水量との関係は見られなかった。



図1 落石発生個数と降水量の関係

2.2 原因別落石発生個数

推定される落石原因別落石発生個数を図2に示す。図2は、推定される落石原因毎に落石の種別で集計した結果である。2016年は落石原因の記録がなかったため、原因別の分析では使用しない。

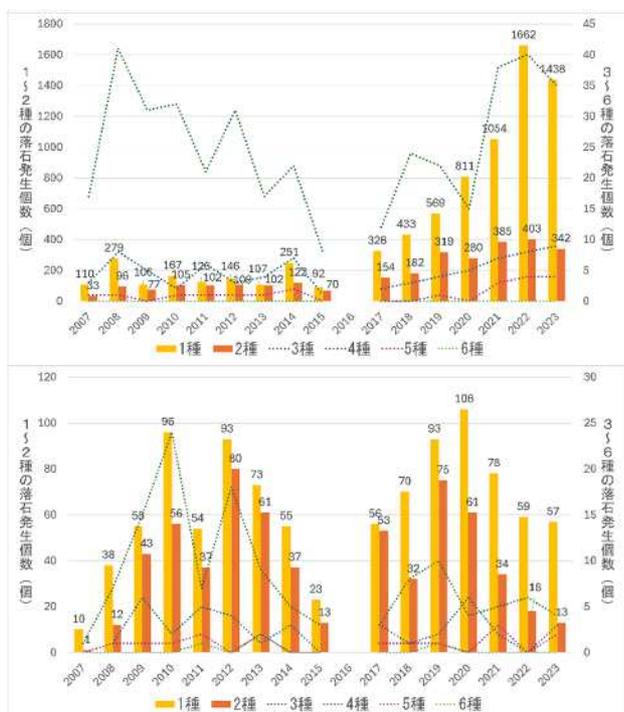


図2 (上) 動物による落石発生個数,
(下) 雨風による落石発生個数

動物の移動による落石は1～5種で増加傾向にあり、特に近年傾向が顕著である一方、雨風の影響による落石発生個数には大きな変化はなかった。むしろ1種～3種では減少傾向が見られた。これらより、近年の落石増加の原因は

動物の移動による影響が大きいと考えられる。この背景としては、動物の食害により地表面の植生が減少することで裸地化し、雨水が地表に到達しやすくなっている。それに伴い、豪雨による土砂流出や浸食等の影響を強く受けて、斜面が不安定化していると考えられる。また、動物による斜面の踏み荒らしも要素の一つとして考えられる。裸地化が進行することで現在は落石のみが顕著に増加傾向にあるが、斜面の崩壊等も増加する危険性も考えられる。しかし、動物の移動によるものと推定されるものは、他の原因が発見できなかった場合の落石も含まれており、誘因が動物の移動だけでは断定できない。可能性として、雨風と動物の移動の2つの事象が重なり発生しているなど、複合的な事象により落石が発生していることも考えられる。

2.3 落石発生時期

落石の発生しやすい時期を調べるために、月ごとの集計を行った結果を図3に示す。2007～2018年の発生個数の少ない時期データは、それぞれの月の年平均と、落石の発生数が1000個を超えた2019年からのデータは単年のものを使用する。



図3 (上) 1種・2種の落石発生個数の月別推移
(下) 3種～6種の落石発生個数の月別推移

図より1種と2種の落石発生個数としては、ほとんどの年で5月が最も多く発生しており、次に6月や4月が多く観測されていた。例年開通時期は4月中旬であり、落石の管理記録は営業開始予定日の5日前頃から実施している。また、4月上旬には浮石点検も実施しており、落石に繋がる可能性のある浮石は開通前に除去している。仮に浮石点検を実施しなければ、実際には記録以上に多くの落石が発生していたと言える。春先の落石が多いことより、融雪の

影響や融雪により斜面が不安定化している場所にてシカが活動を再開することが大きく影響を与えていると考えられる。その他の時期では、梅雨の時期や台風の時期でも確認される落石個数は横這いに推移しており、特徴は見られなかった。

2.4 斜面区分別落石発生個数

落石発生源となる道路に隣接する斜面の等高線・流路・尾根及び谷地形を図4に、図4の情報を基に斜面区分を行った地形図を図5に示す。この区分に沿い、集計した落石発生個数を図6に示す。この結果から高標高部ほど落石が増加する傾向にあることが分かった。特に3種以上の落石

において顕著にその傾向がみられた。伊吹山高標高部は、シカが多く生息する区域であり、斜面の裸地化被害も受けている箇所である。また、地質面からも伊吹山高標高部では砂岩泥岩互層から玄武岩・石灰岩と急崖をつくりやすい地質に変化していることも影響していると考えられる。

図6内の「矢印」は崩壊・崩落の件数を示す。崩壊・崩落の発生した区間では落石も多く観測されており、落石の発生する頻度の高い斜面においては斜面崩壊も相対的に多く発生傾向にあると言える。崩壊・崩落の発生時期に一貫性はないため、地形や斜面方向が大きく影響している可能性が考えられる。

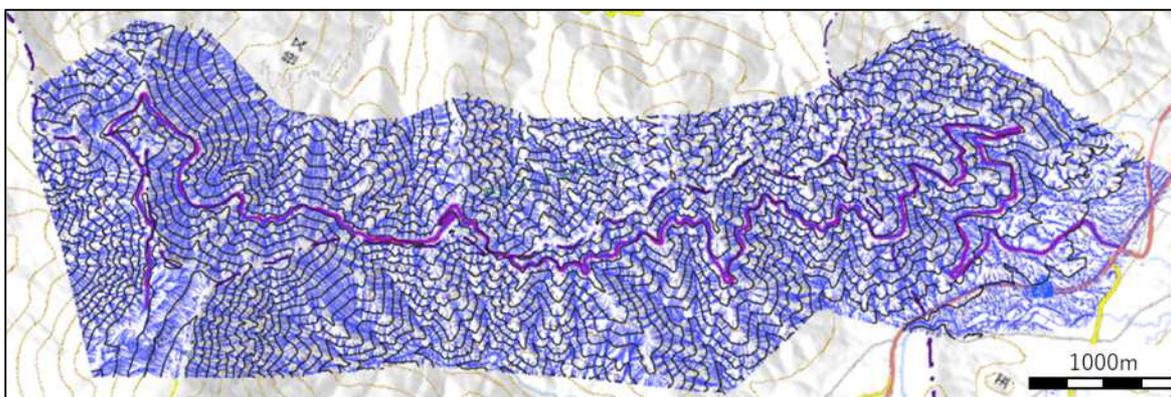


図4 対象路線の地形要素図



図5 斜面区分

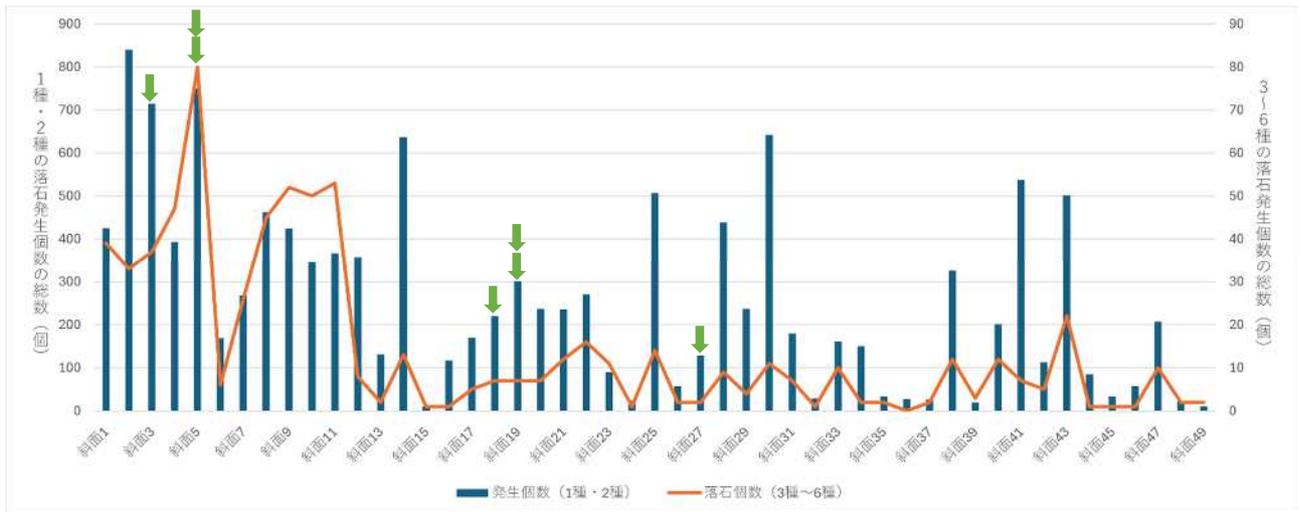


図6 斜面区別落石・崩壊発生状況（2007年～2023年）

2.5 重回帰分析

落石の発生個数及び落石の種類には、どの要素がどの程度影響を及ぼしているのかを確認するため、重回帰分析を行った。表1は、管理記録より落石の種類(大きさ)を目的変数にし、距離(起点～終点)・傾斜・標高・地質(砂岩泥岩互層、石灰岩、玄武岩)・推定される落石原因・降水量の6要素を説明変数として重回帰分析を行った結果を示す。地質や落石原因はダミー変数を使用し、0または1の数値で表現した。表中のBは回帰係数、 β は標準化偏回帰係数であり、P値<0.05を有意水準とした。

重回帰分析の結果、決定係数は $R^2=0.0611$ であり、用いた要素では落石発生個数の変動の約6.11%しか説明できなかった。しかし、個別の変数では「傾斜」は負の有意な影響を示しており、傾斜が急なほど比較的小さい落石が発生する傾向が示された。また、「砂岩泥岩互層」も落石の大きさに対して負の有意な影響を示しており、この地質条件下では小規模な落石が多く発生することが示唆された。

次に1日の落石発生個数を目的変数にし、推定される落石原因・降水量を説明変数として重回帰分析を行った結果を表2に示す。

重回帰分析の結果、決定係数は $R^2=0.1249$ であり、用いた要素では落石発生個数の変動の約12.5%しか説明できなかった。しかし、個別の変数では落石原因の「動物の移動によるもの」は落石発生個数に正の有意な影響を与えており、動物の移動が落石の重要な原因となっていることが示された。また、降水量関連の変数では、「24時間降水量の合計」と「10分間降水量の最大値」が落石発生個数に正の有意な影響を示しており、総降水量と短時間の集中的な降雨が落石発生を促進する要因となっていることが明らかになった。一方で、「1時間降水量の最大値」は負の有意な影響を示しており、これは他の降水量変数との相互関係によるものと考えられる。しかし、「雨風によるもの」は統計的に有意な影響を示さなかった。このことから伊吹

山での落石は複合的な要素から発生していると考えられる。

今回の重回帰分析の結果においては、対策の有無を要素として入れなかったが、落石の発生頻度の高い箇所は既に対策が実施されているため、対策工の有無を考慮する必要があった。また、斜面の傾斜や地質は要素に含んだものの、落石の運動エネルギーを減衰させる植生を考慮することでより決定係数を向上させることができるのではないかと考える。

表1 落石の種類(大きさ)の重回帰分析結果

	落石の種類(n=13658)			P値
	B	β	t	
切片	2.109	-	23.970	0.0000
距離 (km)	-0.030	-0.206	-1.400	0.161
傾斜	-0.005	-0.046	-5.170	0.0000
標高 (m)	0.0003	0.107	0.777	0.436
砂岩泥岩互層	-0.379	-0.288	-13.644	0.0000
石灰岩	0.011	0.007	0.6878	0.491
玄武岩	0.0000	0.0000	65535.00	#NUM!
動物の移動	-0.22	-0.138	-13.280	#NUM!
雨風	0.0000	0.0000	65535.00	#NUM!
その他	-0.003	-0.001	-0.110	#NUM!
24時間降水量の合計 (mm)	0.0003	0.008	0.538	0.590
1時間降水量の最大値 (mm)	0.002	0.016	0.630	0.528
10分間降水量の最大値 (mm)	-0.010	-0.034	-1.723	0.084
R^2				0.0611

表2 日発生個数の重回帰分析結果

	落石発生個数(n=2815)			
	B	β	t	P値
切片	3.479	-	11.098	4.83E-28
動物の移動	1.385	0.126	4.268	2.03E-05
雨風	0.379	0.029	0.966	0.334
その他	0	0	65535	#NUM!
24時間降水量の合計 (mm)	0.048	0.189	5.273	#NUM!
1時間降水量の最大値 (mm)	-0.155	-0.195	-3.534	0.0004
10分間降水量の最大値 (mm)	0.305	0.151	3.733	0.0002
R ²	0.1249			

3. 対象道路における斜面不安定化のメカニズム

対象道路内では、斜面が不安定化している地点にて、特に落石が多発している状況が確認された。伊吹山の斜面が不安定化する要因として、まず石灰岩の露頭が見られ、風化や浸食を受けやすい地質である点や降雨による地表部の浸食、シカによる踏み荒らしや動物による食害等の影響が挙げられる。しかし、2章の落石発生個数の月別推移より、梅雨や台風による降水量が多い時期よりも、春先の落石の方が多く発生していることが明らかになった。このことから、斜面の不安定化に特に大きな影響を与えている要素は、積雪の影響であると推察される。

融雪は積雪の表層が融けることにより水分が積雪内部に浸透し、積雪の底面から融雪水として流出される現象である。この過程で、長期間にわたって地中に水分が供給され続けることになる。地下に浸透した融雪水は、春先に大量に供給されることで斜面を不安定化させる要因となる。伊吹山は豪雪地帯であるため、この事象の影響を強く受けていると推測される。また、積雪による荷重影響も大きい。その結果、ガリー浸食や斜面崩壊といった斜面災害に繋がっている可能性が高いと判断できる。

4. 今後の課題

本検討事例においては、管理者が収集している管理記録より集計を行い、傾向を分析した。その結果、落石の大きさ・落石の発生個数に関して一部傾向や設定した要素との関係性がみられた。しかし、対策工の有無を考慮せずに検討を実施したために得られた傾向は、十分であるとは言えない。今後は対策工の進捗と落石発生数の変遷を検討する必要があると考える。また、伊吹山の落石・浸食の重要な原因の一つとして融雪による浸食の可能性が落石の発生時期や、浸食の進行している斜面の場所より考えられる。そのため、伊吹山9合目にある駐車場での雪尺の測定や斜面への積雪計の設置により、冬季の積雪量の計測、地中温

度の変化の観察等も検討していきたい。

謝辞

各種データを提供していただいた日本自動車道(株)(伊吹山ドライブウェイ)に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 居川信之・斎藤正朗・中川遼也：山岳道路における落石発生に関する要素分析と防止対策の検討，全地連「技術フォーラム2015」名古屋，2015.