

降雨履歴の多い斜面における崩壊率と地形・地質特性の関係整理

国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所 須藤 利夫, 小林 幸夫
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究室 中谷 洋明^{※1}, 三浦 俊介 ^{※2}
 アジア航測株式会社 ○松田 昌之, 諸隈 暁俊, 西村 直樹, 中村 圭祐, 法覺 俊, 久原悦子, 堀 喬紀
^{※1}: 現 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター, ^{※2}: 現 アジア航測株式会社

1. はじめに

土砂災害の被害の低減のためには、砂防施設等の施設整備に加え、土砂災害防止法による警戒避難対策などのソフト対策が必要である。災害発生場の予測のため、地形や地質等の素因に関する調査研究が進められるとともに、警戒避難に重要な土砂災害の発生時間の予測のために誘因となる降雨指標の検討も進められてきた。現在、都道府県砂防部と気象台が運用する土砂災害警戒情報は、短期降雨「60分雨量」および長期降雨「土壌雨量指数」をCL(Critical Line)と比較し、その超過状況から発表されている。しかし、実際にはCLを超過したにもかかわらず土砂災害が発生しない斜面は多数ある。令和2年度の調査では、斜面の最大傾斜と斜面の最大高さにおいて、ヒストグラムの各階級別の崩壊率の変化パターンが地質毎に異なる事例が確認できた。

そこで本研究では近年災害が多く発生した10市町村を選定し、直近の10年間の降雨条件においてCLを大幅に超過したエリアに対して、地質・地形と崩壊率の変化特性に着目し、崩壊と関係性の高い要素の把握を試みた。

2. CLを大幅に超過する降雨を経験した斜面での崩壊率と地形・地質特性の関係分析

2.1. 利用データ

国土交通省水管理国土保全局砂防部保全課が所有する土砂災害DBより、過去6年間に発生した土砂災害を集計し、がけ崩れ災害が多発した7市町村に、令和元年台風第19号および令和2年7月豪雨で土砂災害が多発した3市町村を加えた10市町村を抽出した(表1)。さらに詳細な整理を行うため、これらの10市町村に該当する土砂災害警戒区域(以下「警戒区域」)を抽出するとともに、過去10年間でCLの超過回数が多い3次メッシュを抽出し、そのメッシュに該当する警戒区域の中から地質及び崩壊の発生状況を考慮し、513の警戒区域を選定した。

本検討では、3次メッシュを対象とした整理(①)、対象市町村に該当する全警戒区域での整理(②)、CLを大幅に超過したメ

表1 対象市町村と整理箇所数

市町村	整理① (3次メッシュ)	整理② (警戒区域)	整理③④ (選定区域)
丸森町	323	143	54
球磨村	234	183	33
鹿儿島市	589	5049	73
宇和島市	485	490	26
横須賀市	117	1234	15
横浜市	404	2907	8
岩国市	876	2614	25
宮崎市	643	1189	12
広島市	958	5184	142
佐世保市	537	4051	125
合計	5166	23044	513

表2 整理段階別の特性整理の概要

整理段階	整理対象単位	種別	整理内容概要
概略↓詳細	① 3次メッシュ	降雨情報	最大60分雨量、最大24時間雨量、最大土壌雨量指数、RBFN値、CL超過回数、CL超過時間、CL超過距離、60分雨量超過確率年、24時間雨量超過確率年
		地質・災害	地質区分(8区分)、災害発生件数
	② 土砂災害警戒区域、全区域(①の内容に追加して)	地形・地質	表層地質、地すべり地形、斜面の高さ、斜面の傾斜、斜面方位
		土壌・植生	土壌区分、植生区分
	③ 土砂災害警戒区域のうち選定513区域(①②に加えて)	地形	斜面高さ、斜面傾斜、縦断形状、横断形状、斜面上部の形状、斜面下部の形状、集水面積
		対策工・災害	対策工種及び延長、箇所毎の災害有無
	④	地形	斜面高さ、斜面勾配(区域調査による)
		対策工	対策工種及び延長、箇所毎の災害有無(区域調査による)

ッシュに該当し抽出された513の警戒区域の整理(③)、さらに513区域の現地調査結果(区域調査)による整理(④)の4段階実施した。各段階における整理情報は表2の通りである。なお、降雨確率の情報は、国土技術政策総合研究所資料第1222号によるデータを用いた。

2.2. 崩壊率の定義

本研究では、整理段階①と②について階級別に異なる崩壊率の変化を整理した。各崩壊率の定義は以下のとおりである。

■整理①段階の崩壊率(崩壊メッシュ率)

$$\text{崩壊メッシュ率} = \frac{\text{階級内の崩壊ありメッシュ数}}{\text{階級内の全3次メッシュ数}}$$

■整理②段階の崩壊率

$$\text{崩壊率} = \frac{\text{階級内の崩壊あり危険箇所数}}{\text{階級内の全危険箇所数}}$$

2.3. メッシュ単位(整理①)による要素と崩壊率の関係

本研究は地形・地質等の要素について、崩壊率との関係を整理した結果、最大60分雨量及び最大24時間雨量と崩壊率の関係は降雨の増加とともに崩壊率が減少する傾向がみられる(図3a,b)が、超過確率年で見つた場合には、超過確率年が増加するに従い崩壊率も上昇する傾向が見られた(図-c,d)。これは、降雨と崩壊との関係を整理するにあたり、多くの地域を統合して解析する場合には、地域によって特性の異なる降雨量よりも、空間分解能の高い解析雨量ベースの確率降雨を用いるほうが適合性が高い可能性を示している。

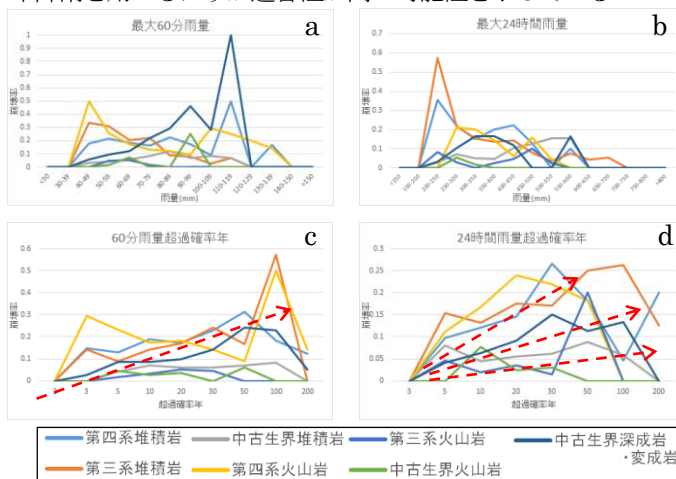


図3 整理段階①の斜面特性整理結果

2.4. 該当市町村の全土砂災害警戒区域(整理②)による要素と崩壊率の関係

整理段階②では、該当10市町村内の全警戒区域を整理したものである。この結果から、区域内の最大勾配や区域内の最大集水面積において崩壊率の関係性が確認された。傾斜量の最大値と崩壊率の関係は、第三系堆積岩・第四系堆積岩で指数増加がみられる。崩壊率を対数で示すと、多くの地質の傾きは変化が少なく、地質毎に切片が異なる可能性が見られた。また、区域内の最大集水面積および斜面の

Figure 10 consists of four sub-graphs (a, b, c, d) showing the relationship between geological parameters and time/area for various geological units. The legend identifies six units: 第四系堆积岩 (Quaternary Tertiary, blue), 中生界堆积岩 (Tertiary Quaternary, grey), 第三系火山岩 (Quaternary Tertiary, blue), 第三系堆积岩 (Tertiary Quaternary, blue), 第三系火山岩 (Tertiary Quaternary, orange), and 中生界火山岩 (Tertiary Quaternary, yellow).

- Graph (a):** 最大傾斜量 (Maximum Dip Angle) vs. 傾斜量 (°) (Dip Angle (°)). The y-axis ranges from 0 to 0.6. The x-axis ranges from <30 to 75-80. The blue line (第四系堆积岩) shows a sharp increase in dip angle starting around 60-64°, reaching approximately 0.55 at 75-80°. The orange line (第三系堆积岩) shows a moderate increase, reaching approximately 0.25 at 75-80°. The yellow line (中生界火山岩) remains relatively flat, around 0.05.
- Graph (b):** 最大傾斜量 (Maximum Dip Angle) vs. 傾斜量 (°) (Dip Angle (°)). The y-axis ranges from 0.001 to 1. The x-axis ranges from <30 to >80. The blue line (第四系堆积岩) shows a sharp increase in dip angle starting around 60-64°, reaching approximately 0.5 at >80°. The orange line (第三系堆积岩) shows a moderate increase, reaching approximately 0.1 at >80°. The yellow line (中生界火山岩) remains relatively flat, around 0.01.
- Graph (c):** 集水面積(最大) (Maximum Catchment Area) vs. 集水面積(m²) (Catchment Area (m²)). The y-axis ranges from 0 to 0.5. The x-axis ranges from 1 to 100,000. The blue line (第四系堆积岩) shows a sharp increase in catchment area starting around 10,000 m², reaching approximately 0.4 at 100,000 m². The orange line (第三系堆积岩) shows a moderate increase, reaching approximately 0.15 at 100,000 m². The yellow line (中生界火山岩) remains relatively flat, around 0.05.
- Graph (d):** 斜面高さ (Slope Height) vs. 斜面高さ(m) (Slope Height (m)). The y-axis ranges from 0 to 1. The x-axis ranges from 0 to 200. The blue line (第四系堆积岩) shows a sharp increase in slope height starting around 100 m, reaching approximately 0.5 at 200 m. The orange line (第三系堆积岩) shows a moderate increase, reaching approximately 0.1 at 200 m. The yellow line (中生界火山岩) remains relatively flat, around 0.05.

2.5. 選定513区域(整理③、④)における崩壊割合と各要素の関係

Figure 10 consists of two line graphs, (a) and (b), showing the evolution of geological units from the Paleozoic to the Cenozoic. The x-axis for both graphs represents geological time, with labels: 300, 250, 200, 150, 100, 50, 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300. The y-axis for graph (a) represents the maximum dip angle (最大傾斜量) in degrees, ranging from 0.1 to 1.0. The y-axis for graph (b) represents the maximum height (最大高さ) in kilometers, ranging from 0.1 to 1.0. The legend for both graphs includes: 第四系堆積岩 (Fourth Tertiary), 第三系堆積岩 (Third Tertiary), 第四系火成岩 (Fourth Tertiary), 第三系火成岩 (Third Tertiary), 中生代堆積岩 (Mesozoic Tertiary), 中生代火成岩 (Mesozoic Tertiary), 中生代深成岩 (Mesozoic Intrusive), and 中生代變成岩 (Mesozoic Metamorphic). The graphs show that the maximum dip angle and maximum height generally increase over time, with the Fourth Tertiary units showing the highest values.

3. 崩壊発生率等に関する地形・地質因子の特徴整理

表3 地質区分別の崩壊・非崩壊分布

	全地質	第四系堆積岩	第三系堆積岩	中生古生界堆積岩	第四紀火山岩	第三系火山岩	中生古生界火山岩	中生古生界深成岩・變成岩						
R60(最大)		×	×	↘	↗	△	↘	△		×		×	↗	⊙
SWI(最大)	↘	△		×	↘	△	↗	⊙		×	↗	△		×
24時間雨量(最大)	↘	○	↘	⊙	⊙	↗	⊙		×		×	×		×
RBFN値(最小)	↗	△		×	↘	△		×		×	×	×		×
CL超過回数(合計)	↗	△	↗	△		×		×		×	×	×	↗	⊙
CL超過時間(合計)	↘	△		×	↗	⊙	↗	⊙	↘	○		×		×
CL超過距離(最大)		×	×	×	×	△		×		×		×	↗	⊙
R60最大の確率年	↗	○	↗	⊙	↗	△	↘	△	↘	↗	△	×	↗	⊙
24時間雨量の確率年	↗	○	↗	△	↗	△	↗	△	↗	△	△	×	↗	⊙
傾斜角 (メッシュ内の平均)		×	×	↘	○	↘	○	↗	△		×	×	↘	○
起伏量 (メッシュ内の平均)	↘	△	×	○	↘	⊙		×	×	↘	△	↘	↘	⊙

3.1. 三次メッシュにおける崩壊率と素因・誘因特性に基づく崩壊率推定方法の試行

■試行検討結果

表4 ロジスティック回帰分析試行結果

地質區分	第四系堆積岩		第三系堆積岩		中古生界堆積岩		中生界深成岩・變成岩	
	判別の中率	予測前破率 平均	判別の中率	予測前破率 平均	判別の中率	予測前破率 平均	判別の中率	予測前破率 平均
非崩壊	81.00%	0.3884	86.00%	0.3384	96.00%	0.2406	86.00%	0.294
崩壊	29.50%	0.4412	35.25%	0.4452	11.27%	0.3221	54.69%	0.540
全体	59.88%		66.77%		73.80%		73.78%	差0.246

中生界变成岩·深成岩

■ 非峰岩
■ 峰岩

变质阶段	非峰岩	峰岩
0~0.1	0.13	0.04
0.1~0.2	0.25	0.18
0.2~0.3	0.05	0.13
0.3~0.4	0.02	0.10
0.4~0.5	0.00	0.08
0.5~0.6	0.00	0.05
0.6~0.7	0.00	0.17
0.7~0.8	0.00	0.11
0.8~0.9	0.00	0.15
0.9~1	0.00	0.02

図6 崩壊・非崩壊メッシュの予測崩壊率分布

4. おわりに

さらに、整理段階ごとの結果を比較すると、より詳細な整理であっても同様な傾向がみられる要素や、集水面積のように詳細な整理により新たに傾向が得られる要素もある。そのため、崩壊との関係性の評価にあたっては、同じ要素でありながら、地質毎に傾向が異なるほか、データの調査精度により妥当とする程度が異なる点にも留意することが重要である。

また、本研究では崩壊率の予測検討が試行レベルのものであるため崩壊率の絶対値の精度は低い、相対的な危険性の評価としては利用できる可能性がある。今後はデータの追加や要素を複眼的に解析する手法を再度精査していきたい。

【参考文献】

- 520 -