

## 奈良県南部における深層崩壊発生要因の数量化Ⅱ類による分析

国際航業(株) ○小野山裕治・江本聡志・堀大一郎・清水幹輝

## 1 はじめに

奈良県南部地域では、平成 23 年台風 12 号の「平成 23 年紀伊半島大水害」によって南部地域の合計 54 箇所「深層崩壊」が発生し、崩壊した土砂による土石流災害や河道閉塞による湛水災害を生じた。

奈良県では、深層崩壊等の大規模土砂災害による知見・教訓を広く共有することを目的として、平成 24 年度に「深層崩壊研究会」を立ち上げ、現地調査や有識者による議論を深め、深層崩壊発生メカニズムの解明に向けた取り組みが行われた<sup>1)2)</sup>。

本研究では、この取り組みの中で深層崩壊の非発生斜面を抽出して、発生／非発生斜面の現地踏査を行い、深層崩壊の発生と関連性の強い要因について、発生／非発生への寄与の度合いを評価尺度とし、数量化理論等の統計学解析手法を適用した結果を報告する。

## 2 現地踏査の概要と非発生斜面の抽出

奈良県は平成 23 年台風 12 号により発生した、深層崩壊 54 箇所と河道閉塞 6 箇所と、明治十津川大水害の深層崩壊跡地 28 箇所の合計 88 箇所での現地踏査を行い、平成 25 年度までに地形判読や現地踏査に基づく斜面位置、崩壊規模、発生素因、発生誘因、被害状況等の合計 155 項目の現地調査データを「深層崩壊カルテ」としてとりまとめた<sup>2)</sup>。

これらの結果を踏まえ、深層崩壊の発生／非発生の違いを現地調査データから判別することを目的として、深層崩壊の「非発生斜面」の抽出を行った。

非発生斜面の抽出では、以下の 5 条件の組合せについて崩壊斜面と類似するよう対象斜面を選定した。

- ①台風 12 号の 72 時間累積雨量が 600mm 以上  
 ②地質帯区分、③単元流域深層崩壊危険度評価、  
 ④微地形要素の有無、⑤地質構造(流れ盤・受け盤)

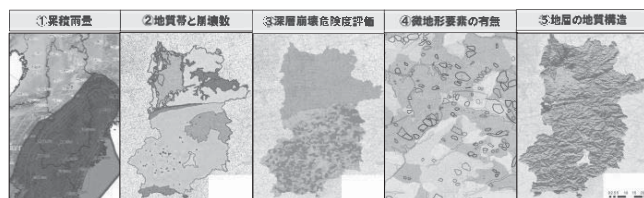


図-1. 非発生斜面抽出選定の 5 条件

深層崩壊発生斜面は上記 5 条件の組合せがのべ 26 通りあり、組合せ頻度が多く、LP 地形図データの有無や斜面へのアクセス性を考慮して 20 斜面を抽出・選定した。抽出した非崩壊 20 斜面についても地形判読や現地踏査を行い、崩壊諸元を除く項目について深層崩壊カルテを作成した。

## 3 崩壊発生要因の統計解析手法

斜面災害における発生要因と斜面安定等の統計解析に関する既往研究では、崩壊の発生要因を説明変数とし、崩壊の発生／非発生を目的関数として多変量解析を行い、崩壊発生への発生要因の寄与度や崩壊発生の有無を判別分析する手法が用いられている<sup>3)ほか</sup>。

斜面崩壊の発生要因は、崩壊地の頭部標高や末端部との比高、斜面の平均勾配といった数値による「量的データ」と、斜面方位や地質分類、崩壊発生の有無などの分類区分や評価区分による「質的データ」の 2 種類に分かれる。斜面安定に関する発生要因には質的データが多いため、質的データを取り扱い可能な数量化Ⅱ類が多く用いられている<sup>3)ほか</sup>。

これらを踏まえ、本研究における統計解析では、発生要因ごとの発生／非発生の比率分析と相関分析による絞り込みを行い、数量化Ⅱ類解析による発生／非発生要因の寄与度を解析した。以下、統計分析の慣用に従い、カルテ記載項目(発生要因)を「アイテム」、アイテムの特性を定義する数値や評価による区分を「カテゴリ」、個別の斜面データを「サンプル」、斜面の崩壊／非崩壊を「目的変数」と定義する。

## 4 解析・検討結果

## 4.1 発生要因・サンプル数の絞り込み

「深層崩壊カルテ」に記載された 155 項目のうち、斜面の位置・名称等の諸元や、非崩壊斜面には記載のない崩壊規模や河道閉塞、被害状況等の 132 項目を除外した。その上で、抽出したアイテム間の相関分析を予察的に繰り返し、最終的に地形素因: 9 項目(①～⑨)、地質素因: 4 項目(⑩～⑬)の合計 13 項目を抽出・選定した(表-1)。なお、解析に用いるサンプル(斜面)についても上記 13 項目に欠損があるサンプルは棄却し、のべ 108 箇所から 77 箇所に絞り込んだ。

表-1. 深層崩壊の発生要因・アイテム(13項目)

No.	発生要因・アイテム	区分	No.	発生要因・アイテム	区分
①	斜面方位	地形量	⑧	地すべり地形	微地形
②	比高	地形量	⑨	深層崩壊跡地	微地形
③	勾配	地形量	⑩	地質分類	地質
④	山頂緩斜面	微地形	⑪	岩相	地質
⑤	線状凹地・多重山稜	微地形	⑫	風化度	地質
⑥	岩盤クリープ斜面	微地形	⑬	地層構造・斜面の関係(流れ盤・受け盤等)	地質
⑦	円弧状クラック	微地形			

## 4.2 アイテム・カテゴリ毎の崩壊発生／非発生比率

抽出した発生要因アイテム毎に、深層崩壊発生／非発生の構成比率がどの程度異なっているかを把握するため、アイテムのカテゴリ区分毎に発生／非発生の比率を集計した。深層崩壊の非発生斜面は発生斜面の 4 分の 1 (20 箇所) しかないため、箇所数比を 50:50 となるよう正規化処理を行って比較した。

比較結果より、アイテム③勾配では、崩壊非発生斜面において勾配 35°未満の比率が高く、発生斜面では 30°以上の比率が高くなることを示している。また、アイテム⑩風化度では、強風化側で崩壊発生斜面比率が多くなり、非発生斜面は弱風化側で多くなる傾向が認められる。一方で、アイテム①斜面傾斜方位を見ると、崩壊発生斜面では北西・北方向の比率が高いのに対し、非発生斜面でも北西～北東方向の比率が高い。これは、地域に卓越する斜面方位によるバイアスを受けていることを示しており、比率だけによる発生要因の絞り込みの判断は難しいことが分かる。

以上のアイテム・カテゴリ毎の崩壊発生／非発生比率の比較分析結果から、比率が特徴的に高くなっているアイテム・カテゴリは、図-2の8項目となる。

- |  |   |
|--|---|
| <p>1) 深層崩壊の「発生」比率が相対的に高いアイテムのカテゴリ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆⑬地層構造:流れ盤(37%)</li> <li>◆③勾配:40°超(23%)</li> <li>◆①斜面方位:北東(13%)</li> <li>◆⑩岩相:泥質岩(10%)</li> </ul> | <p>2) 深層崩壊の「非発生」比率が相対的に高いアイテムのカテゴリ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆⑦円弧状クラック:無し(45%)</li> <li>◆③勾配:35°未満(38%)</li> <li>◆⑫風化度:弱風化(23%)</li> <li>◆④岩相:砂岩優勢互層(20%)</li> </ul> |
|--|---|

図-2 発生／非発生比率が相対的に高いアイテム

### 4.3 数量化Ⅱ類による判別分析解析

数量化Ⅱ類の解析では、発生要因アイテム毎に集計したカテゴリデータから、深層崩壊発生の「有」群と「無」群を合理的に判別するため、アイテムごとの群の中でのバラツキを小さく(群の重心に近い)して、群ごとのバラツキを最も大きくする(群間の重心が遠い)ように「カテゴリスコア」を設定する計算を行う。

数量化Ⅱ類による判別分析は、群馬大学社会情報学部情報行動学科の青木繁伸教授により公開運用されている、Web統計解析サイト「Black Box」にアイテムデータを入力して解析する手法を用いた。数量化Ⅱ類の解析結果より、深層崩壊の発生／非発生に寄与する発生要因アイテムを抽出した。解析では、発生要因アイテムのカテゴリごとにカテゴリスコアやレンジ、偏相関係数を算出し、それぞれの値が大きな発生要因・カテゴリの抽出を行った。

### 4.4 数量化Ⅱ類による深層崩壊発生寄与順位の評価

数量化Ⅱ類による判別分析の留意点を踏まえ、深層崩壊発生／非発生の判別に影響・寄与する発生要因の抽出では、レンジおよび偏相関係数、カテゴリスコアと正規化した発生／非発生比率を総合的に比較・判断しながら抽出分析を行った。具体的には、カテゴリスコアと発生比率が共に発生側ないし非発生側で、原則として偏相関係数が 0.3 超、レンジが 1.0 超となるアイテムを抽出した(表-2)。また、発生／非発生の比率が同じ場合は、極端に比率が低くない限り原則としてカテゴリスコアにより発生／非発生側を判断した。

以上の分析手順により、崩壊発生／非発生の判別に影響・寄与する発生要因アイテムを抽出した(図-3)。発生要因判別の寄与順位は偏相関係数>レンジ>カテゴリスコアと比率から総合的に判断して決定した。

表-2 数量化Ⅱ類・相関分析による判別結果

番号	区分	アイテム名称	カテゴリ区分	数量化	発生	非発生	発生比率	非発生比率	カテゴリスコア	カテゴリスコア	カテゴリスコア	カテゴリスコア	カテゴリスコア	レンジ	偏相関係数	発生との相関	判別寄与順位
1	地形	斜面方位	発生	1	▲	3%	13%	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	1.18	0.48	-0.17	5位
			非発生	2	○	56%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	地形	比高	<100m	1	○	3%	3%	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	-0.170	1.66	0.22	0.15	
			<200m	2	○	23%	21%	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115	-0.115				
			<300m	3	○	19%	13%	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094				
			<400m	4	○	8%	8%	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022				
			<500m	5	▲	0%	2%	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357				
			<600m	6	▲	0%	2%	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580				
			<700m	7	▲	0%	2%	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287				
			<800m	8	○	10%	10%	-0.415	-0.415	-0.415	-0.415	-0.415	-0.415				
3	地形	勾配	<25°	1	○	3%	3%	-1.084	-1.084	-1.084	-1.084	-1.084	1.57	0.38	0.22	4位	
			<30°	2	○	15%	8%	-0.116	-0.116	-0.116	-0.116	-0.116					
			<35°	3	○	23%	18%	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079					
			<40°	4	▲	10%	17%	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228					
			<45°	5	▲	0%	0%	0.489	0.489	0.489	0.489	0.489					
4	地形	山頂緩斜面	有	1	○	8%	8%	0.096	0.096	0.096	0.096	0.88	0.38	-0.08	6位		
			無	2	○	8%	8%	-0.782	-0.782	-0.782	-0.782	-0.782					
5	地質	緩状凹地 二重山稜	有	1	▲	18%	10%	0.080	0.080	0.080	0.080	0.11	0.06	0.19			
			無	2	○	3%	4%	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025					
6	地質	岩盤割 斜面	有	1	▲	3%	3%	0.061	0.061	0.061	0.061	0.34	0.19	-0.12			
			無	2	○	13%	12%	-0.283	-0.283	-0.283	-0.283	-0.283					
7	地質	円弧状 クラック	有	1	▲	5%	5%	0.139	0.139	0.139	0.139	0.17	0.10	-0.14			
			無	2	○	6%	6%	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053	-0.053					
8	地質	地すべり 地形	有	1	○	23%	11%	-0.212	-0.212	-0.212	-0.212	0.44	0.26	0.22			
			無	2	▲	23%	33%	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126					
9	地質	深層崩壊 跡地	有	1	▲	3%	3%	-0.194	-0.194	-0.194	-0.194	0.44	0.30	0.05			
			無	2	○	20%	16%	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248					
10	地質	地層分類	四方十・滑層川	5	○	5%	2%	-0.635	-0.635	-0.635	-0.635	1.10	0.30	-0.01			
			四方十・日高川	6	▲	3%	4%	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010					
			長久手	7	○	8%	3%	0.469	0.469	0.469	0.469	0.469					
			長久手	1	○	3%	1%	-0.668	-0.668	-0.668	-0.668	-0.668					
			長久手	2	▲	0%	10%	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901					
			長久手	3	▲	20%	4%	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079					
11	地質	岩相	泥質岩	4	○	20%	8%	-0.970	-0.970	-0.970	-0.970	2.24	0.64	-0.18	1位		
			砂岩	5	▲	5%	8%	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300					
			砂岩	6	○	3%	0%	-1.441	-1.441	-1.441	-1.441	-1.441					
			砂岩	1	▲	5%	18%	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373					
			砂岩	2	▲	23%	26%	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105					
			砂岩	3	○	23%	6%	-0.870	-0.870	-0.870	-0.870	-0.870					
12	地質	風化度	強風化	1	▲	5%	18%	0.373	0.373	0.373	0.373	1.24	0.55	-0.42	3位		
			中風化	2	▲	23%	26%	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105					
			弱風化	3	○	23%	6%	-0.870	-0.870	-0.870	-0.870	-0.870					
			流れ盤	1	▲	20%	3%	0.226	0.226	0.226	0.226	0.226					
13	地質	地層構造と 斜面の関係	不明	2	○	3%	7%	-0.197	-0.197	-0.197	-0.197	1.48	0.52	-0.48	4位		
			受け盤	3	○	13%	6%	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157	-0.157					
			その他	4	○	15%	0%	-1.255	-1.255	-1.255	-1.255	-1.255					

- 順位(1) ④岩相(偏相関係数0.64.レンジ2.34)
- 順位(2) ⑬地層構造と斜面の関係(偏相関係数0.52.レンジ1.48)
- 順位(3) ⑫風化度(偏相関係数0.55.レンジ1.24)
- 順位(4) ③勾配(偏相関係数0.36.レンジ1.573)
- 順位(5) ①斜面方位(偏相関係数0.48.レンジ1.158)
- 順位(6) ④山頂緩斜面(偏相関係数0.36.レンジ0.878)

図-3. 数量化Ⅱ類による深層崩壊発生寄与順位上位

### 5 まとめ

数量化Ⅱ類による解析結果から、発生／非発生の判別寄与順位の上位は岩相や地層構造など地質に関する3項目(泥岩地質・流れ盤・強風化)、下位は地形に関する3項目(勾配大・斜面方位北東・山頂緩斜面あり)からなることが明らかになった。

### 参考文献

- 1) 奈良県・深層崩壊研究会(2013):「深層崩壊のメカニズム解明に関する現状報告」,平成25年6月
- 2) 奈良県県土マネジメント部(2015):「紀伊半島大水害大規模土砂災害アーカイブ」,奈良県ホームページ
- 3) 橋野直二・池内政男(2003):「数量化理論による切土のり面の安定性評価」,平成15年度日本応用地質学会中四国支部発表講演要旨, No.16.2003ほか
- 4) 青木繁伸(2014):「群馬大学社会情報学部青木研究室 Web データ処理サービス『Black Box』」