

ラフ集合論を用いた平成23年台風12号による紀伊半島での深層崩壊発生箇所の重要要因と発生・非発生条件の抽出に関する研究

国土交通省近畿地方整備局河川部
国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所
(株) エイト日本技術開発

木下篤彦, 北川眞一
大山 誠
○竹本大昭, 海原荘一, 只熊典子

1. はじめに

平成23年9月の台風12号では総雨量1,000mmを超える降雨により奈良県南部や和歌山県内で多数の深層崩壊が発生し、多量の崩壊土砂によって天然ダムが形成されたほか、直接的に人的被害が生じる等、周辺地域に多大な被害を及ぼした¹⁾。

深層崩壊による被害を未然に防止するには、深層崩壊に関連性の高い地形・地質要因、降雨要因を把握し、リスク評価を事前に行うことが重要と考えられる。しかしながら、地形要因等の深層崩壊の発生条件に関する検討事例は少ない状況である。

本研究は、リスク評価を行う際に必要となる深層崩壊発生・非発生箇所等での詳細な現地踏査、地形解析を行う箇所の絞り込みや調査の省力化・合理化に役立てるための参考として、マクロ的な分析に主眼を置き、机上調査レベルで抽出可能な地形・地質、降雨指標の中で深層崩壊発生・非発生に関連性の大きい要因について、統計的な傾向把握を行ったものである。

なお、検討対象地域は台風12号で多数の深層崩壊が生じた奈良県南部地域(図1参照)とした。深層崩壊に係る要因分析手法としては、データマイニング手法の1つであるラフ集合解析を以下の理由により採用した。

- ・単一の要因だけでなく複数の要因の組合せに対して深層崩壊との関連性を分析可能であること。
- ・ニューラルネットワーク等のパターン分類手法に比べれば分離精度(※分析結果から得られる判定条件の判定結果と深層崩壊実績との誤差を指す)は劣るが、「IF ●● THEN 発生」といったルールで判定条件が明確に示され、深層崩壊と関連性の高い要因の糸口を探る本研究では判定条件が明確な手法が最適と判断したこと。

2. 分析に使用した要因について

2.1 深層崩壊の定義と分析の評価単位

本研究における深層崩壊、評価単位及び深層崩壊の発生流域、非発生流域の定義は以下のとおりであり、検討対象地域には発生流域が61流域、非発生流域が787流域の計848流域が存在する。

深層崩壊 : 「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)²⁾」(以下、深層崩壊マニュアル)にて深層崩壊の目安としている崩壊面積10,000m²以上の崩壊を深層崩壊と定義。

評価単位 : 検討対象地域を約1km²の流域に分割し、深層崩壊を含む流域を発生流域、深層崩壊を含まない流域を非発生流域と定義(※深層崩壊が複数の流域に跨る場合は該当流域を全て発生流域とした)。

2.2 分析に使用した地形・地質要因、降雨要因

表1 分析に使用した地形・地質・降雨要因の概要一覧

| 番号 | 要因名 | データの定義及びカテゴリ分類 |
|----|-------------|---|
| 1 | 斜面方位 | 国土地理院50mメッシュ標高データを基に斜面方位(最頻値)を算出し、8方位(45度で分割)でカテゴリを分類した。 |
| 2 | 微地形該当数 | 1/25,000数値地図の微地形判読結果に基づく判読岩盤クリーブ斜面、リニアメント、地すべり地形、二重山稜地形、クラック、滑落崖、山頂緩斜面、深層崩壊堆積物が流域内に存在箇所数をカウントし、カテゴリを5分割した。 |
| 3 | 標高差 | 斜面の高さを表現する地形量であり、国土地理院の50mメッシュ標高データを基に1km ² 流域内の最大標高と最小標高の差を求め、カテゴリを5分割した。 |
| 4 | 傾斜度 | 斜面勾配を表現する地形量であり、国土地理院の50mメッシュ標高データを基に1km ² 流域内で最大となる傾斜度を求め、5カテゴリに分類した。 |
| 5 | 接峰面差 | 巨視的に見た侵食前地形からの開析度を表現する地形量で、国土地理院の50mメッシュ標高データより周辺10メッシュの最大値で包絡した接峰面と元地形標高値の差を算出し、1km ² 流域内の最大値を求め5カテゴリに分類した。 |
| 6 | 谷密度 | 流域内の詳細な侵食前地形からの開析度を表現する地形量であり、国土地理院の50mメッシュ標高より谷を判定し、1km ² 流域内の谷の総延長 / 流域面積の値(単位:m/km ²)を5カテゴリに分類した。 |
| 7 | 地質区分 | 土质地質図により秩父帯、火成岩類、四万十帯の緑色岩類、泥岩、砂岩、砂岩泥岩互層、新生代の堆積岩類について分析対象流域を7つにカテゴリ分類した。 |
| 8 | 断層からの距離 | 土质地質図の断層及び推定断層から各流域までの最短距離を求め、5カテゴリに分類した。 |
| 9 | 36時間雨量超過確率年 | 過去約30年分のアメダスデータを基にアメダス観測所の台風12号時の48時間最大雨量に対する超過確率年を求め、検討対象範囲の等確率年線を設定し、各流域の値を求めて5カテゴリに分類した。 |
| 10 | 48時間雨量超過確率年 | 過去約30年分のアメダスデータを基にアメダス観測所の台風12号時の48時間最大雨量に対する超過確率年を求め、検討対象範囲の等確率年線を設定し、各流域の値を求めて5カテゴリに分類した。 |
| 11 | 累積雨量超過確率年 | 過去約30年分のアメダスデータを基に各観測所の台風12号時の累積雨量(24時間無降雨)に対する超過確率年を求め、検討対象範囲の等確率年線を設定し、各流域の値を求めて5カテゴリに分類した。 |
| 12 | 36時間雨量 | 台風12号における各流域のCバンド1kmメッシュ雨量値の36時間雨量の最大値を求め、5カテゴリに分類した。 |
| 13 | 48時間雨量 | 台風12号における各流域のCバンド1kmメッシュ雨量値の48時間雨量の最大値を求め、5カテゴリに分類した。 |
| 14 | 累積間雨量 | 台風12号における各流域のCバンド1kmメッシュ雨量値の累積雨量(24時間無降雨)の最大値を求め、5カテゴリに分類した。 |



図1 検討対象地域(奈良県南部)

表1に解析に使用した地形・地質要因、降雨要因を示す。地形・地質要因としては、「深層崩壊マニュアル」に示されている微地形及び地質構造、地質、地形量などの素因の他に降雨要因として36時間雨量、48時間雨量、累積雨量及びその3つの長期降雨指標の超過確率年を加えた14要因とした。

3. ラフ集合による深層崩壊発生要因分析結果

表1に示した14項目の中から、ラフ集合解析により、深層崩壊の発生及び非発生

流域を一定の精度で分離する際に必要となる重要要因を抽出した。

ラフ集合解析では、一般的に要因数が多いほど発生・非発生の分離精度は向上するが、深層崩壊の発生・非発生を判定するための要因数が多い場合は煩雑となり、どの要因が重要なかが分かり難くなる。できるだけ少ない要因数で発生・非発生を分離することが望ましい。表2に重要要因の数と分離精度（整合度）の最高値を示すが、本研究では解析に使用した全14要因の概ね50%以下となる重要要因数6要因で整合度98%を確保する組合せに着目した。重要要因6要因の組み合わせは表2に示すように3,003通り存在する。

表2 重要要因数と整合度

| 要因数 | 整合度(最低値) | 整合度(最高値) | 組み合わせ数 |
|-----|----------|----------|--------|
| 5 | 0.447 | 0.948 | 2,002 |
| 6 | 0.599 | 0.979 | 3,003 |
| 7 | 0.705 | 0.995 | 3,432 |

3,003通りの組合せの中で重要要因に選定される割合、合が高い要因は、対象とした要因の中では深層崩壊に対する関連性が大きいと判断できる。

そこで全3,003通りの組み合わせの内、各要因がどの程度の割合で選定されているかに着目し、重要要因の評価指標とした。図2に各要因の選定率（重要要因に選定された回数 / 3,003）を示す。

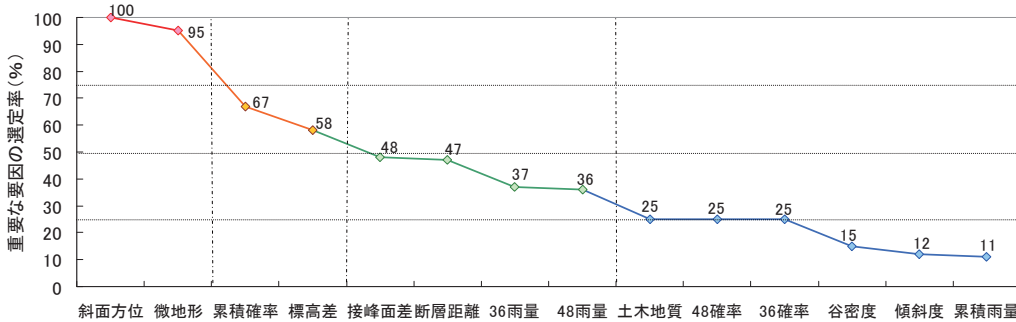


図2 全14要因と各要因の重要要因の選定率の関係 表3 ルールに着目した最適な重要要因の組合せ

4. 発生・非発生ルールから見た最適な6要因とその条件

ここでは前述した6要因数の組み合わせの中からラフ集合解析のもう一つの特徴である発生・非発生ルールの抽出の面から最適な要因の組合せを精査した。精査の結果、重要要因6要因となるルールの内、整合度の高い上位6ケース（表3参照）の中から以下の観点でケース1を最適なルールと評価した。

- ・深層崩壊の発生・非発生ルールとしては、判定条件が煩雑とならないように、より少ないルール数で表現可能であること。
- ・整合度が高いこと。特に崩壊規模の大きい赤谷地区や栗平地区等（崩壊面積300,000m²規模）、規模の大きい崩壊実績に対する見逃しが無いこと。

表4にケース1の発生・非発生ルールの概要を示す。

5. おわりに

本研究の主要な結論を以下に列記する。

- 1) 深層崩壊の発生・非発生を考える上での重要要因としては、**素因：斜面方位、微地形該当数、標高差、接峰面差、誘因：累積雨量の超過確率年、36時間雨量**となった。
- 2) 深層崩壊の発生条件としては、表4に示すとおり斜面方位：北西・北東向き（流れ盤と関連）、微地形該当数：3箇所以上、累積雨量の超過確率年：1/150年以上（経験降雨の差）等が挙げられる。

表4 ケース1 発生・非発生ルールの概要（発生38ルール、非発生98ルールの傾向を整理したもの）

| 発生ルールの各カテゴリの構成割合 - 非発生ルールの各カテゴリの構成割合 | | | | | | | | | | -凡例- | | | |
|--------------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|--------------|---------|-------------|---------|------|---------|-------|------|
| 微地形該当数 | | 標高差 | | 接峰面差 | | 累積雨量の超過確率年 | | 36時間雨量 | | 斜面方位 | | ◆発生傾向 | |
| カテゴリ | 割合の差(%) | カテゴリ | 割合の差(%) | カテゴリ | 割合の差(%) | カテゴリ | 割合の差(%) | カテゴリ | 割合の差(%) | カテゴリ | 割合の差(%) | | |
| 0箇所 | -14.8 | 300m未 | 1.2 | 180m未満 | -1.2 | 1/50年未満 | -10.2 | 560mm未満 | -8.0 | 南 | -5.3 | 東 | 3.2 |
| 1箇所 | -9.1 | 300~510m | -1.4 | 180~240m | 0.2 | 1/50~1/100年 | -11.2 | 560~660mm | 4.9 | 南東 | -6.6 | 北西 | 15.3 |
| 2箇所 | -4.7 | 510~720m | -9.6 | 240~300m | -3.4 | 1/100~1/150年 | -16.6 | 660~900mm | 2.3 | 南西 | -9.3 | 北東 | 9.7 |
| 3箇所 | 10.2 | 720~930m | 10.3 | 300~360m | 4.9 | 1/150~1/200年 | 9.3 | 900~1,040mm | 5.9 | 西 | -6.6 | | |
| 4箇所以上 | 18.4 | 930m以上 | -0.5 | 360m以上 | -0.5 | 1/200年以上 | 28.7 | 1,040mm以上 | -5.2 | 北 | -0.3 | | |

本研究では、台風12号災害という1つの降雨イベントで集中的に深層崩壊が発生した奈良県南部という限定的な範囲を対象としたものではあるが、ラフ集合論を用いることで深層崩壊の発生・非発生を考える上での重要要因や発生条件等を把握することができた。

参考文献

- 1) 2011年台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害、砂防学会誌 Vol. 64, No. 5, p. 43-53, 2012
- 2) 豪雨を誘因とする深層崩壊発生箇所の特徴とその抽出手法について、土木技術資料 Vol. 49, No. 5, p. 58-63, 2007