

資料・文献調査による深層崩壊の発生場の特徴と抽出手法の整理

静岡大学農学部 ○今泉文寿

京都大学防災研究所 堤 大三・宮田秀介

信州大学農学部 福山泰治郎

1. はじめに

2011 年台風 12 号により、紀伊半島各地において大規模な土砂移動が発生し、甚大な被害を発生させた。この災害は、様々な土砂移動現象が複合的に関わったものであるが、特に多数の深層崩壊の発生が特徴的であった。深層崩壊はその土砂移動量が大きいだけでなく、崩壊土砂の土石流化や天然ダムの形成・決壊といった付随的な土砂移動現象により、さらに大きな被害をもたらすことが特徴である。近年気候変動に伴う降雨パターンの変化、さらにはそれに伴う深層崩壊の発生パターンの変化が指摘される中、ますます深層崩壊の発生予測の必要性が高まっている。本研究では、大規模土砂移動に伴う影響範囲の予測手法の構築に向けた一環として、既往の深層崩壊の発生場の抽出に関する知見を整理した。特に、既往の研究・調査資料をレビューすることで深層崩壊の発生場の特徴を明らかにするとともに、これまで研究や事業で試みられた発生場の抽出手法をとりまとめた。

2. 深層崩壊の発生場の特徴

深層崩壊の発生には地質・地形・斜面の水文特性といった素因と地震や降雨などの誘因が関わっている。このうち、本研究では素因に着目する。素因は地形、地質、水文特性に大別される(図 1)。地質的には、大断層帯である中央構造線沿い、特にその南側の付加体において深層崩壊が高頻度で発生している。この地質帯には、宝永地震により発生した大谷崩、安政東海地震により拡大した七面山ナナイタガレが位置する

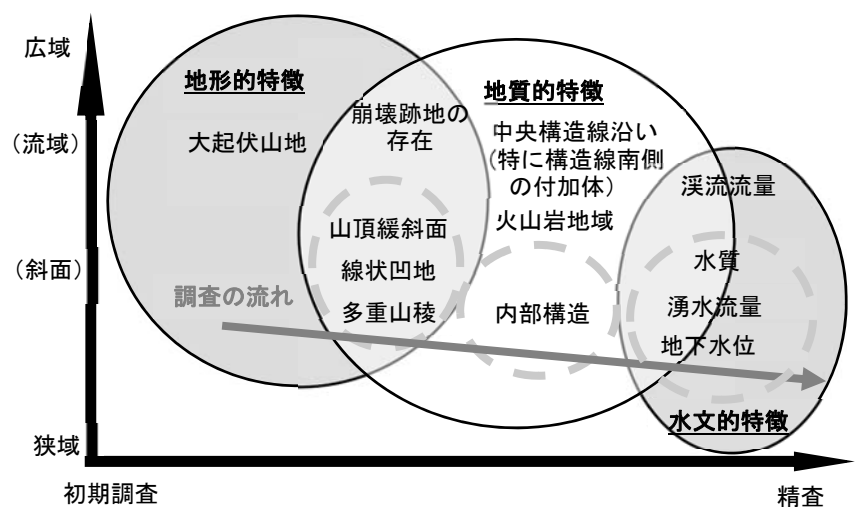


図 1 深層崩壊の発生場の特徴

ほか、2004 年の三重県宮川での災害(林ら, 2004)や、2005 年の宮崎県鰐塚山での災害(清水, 2008)において多数の深層崩壊が発生した。また火山地域においても、1997 年の鹿児島県出水市針原川をはじめとした深層崩壊の発生がみられる(鈴木ら, 2007)。地域スケールでみると、深層崩壊の発生場は地質の内部構造に特徴を有する。紀伊半島災害時に奈良県内で発生した崩壊面積 10,000m³ 以上、崩壊深 10m 以上の深層崩壊 54 箇所のうち、39 箇所(72%)は流れ盤に位置しており、受け盤(6 箇所, 11%)と比較して明らかに多い(深層崩壊研究会, 2013)。

地形的な観点からみると、巨視的には大起伏山地で発生することが多い(長谷川ら, 2008)。個々の斜面の地形に着目すると、深層崩壊の発生場には山頂緩斜面や線状凹地(あるいは多重稜線等)などの特徴的な地形が確認される(羽田野, 1974; 岩松・下川, 1986; Chigira and Kiho, 1994)。山頂緩斜面や線状凹地は山体の地質構造の影響により形成された地形であるため(Chigira and Kiho, 1994)、これらは地質と地形にまたがる特徴であるとみなすことができる(図 1)。また、新規の深層崩壊は過去の深層崩壊跡地の近傍に発生しやすいという傾向がある(鈴木ら, 2007; 横山ら, 2011)。これは、過去の深層崩壊跡地の近隣斜面が深層崩壊の発生しやすい地質・地形条件を有していることが理由と考えられる。

深層崩壊の発生と斜面(あるいは小流域)の水文的特徴、具体的には水質や湧水量についての関係性についても指摘されている(地頭菌・下川, 1997, 地頭菌, 2014)。斜面の水文特性は地下の地質構造に影響されているため、水文的特徴と地質的特徴は関連性を有している(図 1)。

3. 深層崩壊の発生場の抽出手法

指標となる地形、内部構造、水文的特徴は、それらの取得範囲や難易度等大きく異なり、並列的に扱われるものではない。砂防・地すべり技術センター(2014)によると、対象地域全体の広域を網羅的に実施される航空レーザ

計測と、優先度（もしくは相対的な危険度など）が高い地区など絞り込んだ範囲で実施される調査・解析（空中電磁探査、水文調査）では、得られるデータの範囲と情報量が大きく異なることが示されている。そのため、各手法を組み合わせる用いる場合は、①航空レーザ測量により取得された「地形」指標によって第一段階の危険斜面を抽出（広域調査）、②空中電磁探査等によって取得された「内部構造」指標によって第二段階の危険斜面を抽出（斜面単位の調査）、③「水文」調査によって第三段階の危険斜面を抽出（現地調査）という段階的な抽出プロセスを実施することで危険斜面を絞り込んでいく手法が肝要となる。以下ではそれぞれのプロセスについて詳しくみる。

3. 1 地形的特徴による抽出法

土木研究所資料第 4115 号「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル（案）」では、①深層崩壊発生履歴、②地質構造と微地形要素、③地形量を用いて溪流単位での深層崩壊発生危険度を求める。このうち、地質構造は活断層詳細デジタルマップ（中田・今泉，2002）およびシームレス地質図（縮尺 1/20 万）を用いて調べ、微地形要素は、山頂緩斜面、多重山稜・線状凹地・小崖地形、円弧状クラック、岩盤クリープ斜面、地すべり地形を指標とする。地形量には勾配と集水面積を用いる。本手法は、入手容易な資料を用いていることが特徴である。

アジア航測株式会社（2014）では各単位斜面において、地点地形量（勾配等）と単位斜面地形量（起伏率等）を算出し、閾値によって危険斜面と判定された該当数を算出する。さらに該当数に対するカバー率との中率比を算出し、抽出条件となる該当数を決定する（C/P 判定）。カバー率：50%以上かつの中率比 2.0 以上の範囲から抽出条件となる該当数が設定されている。C/P 判定を行うことで、信頼度の検証を行うことが特徴である。

砂防学会(2014)では地質構造の影響を受けて現れる微地形についてとりまとめている。曲げ、すべり、座屈等の重力性変形により形成される地形を列挙し、機械的にそれらを分類・抽出する手法として、カテゴリー解析やパターンマッチングを試みている。加えて陰影、傾斜区分、など 7 種類の地形解析図を用いた微地形判読も試みている。

3. 2 内部構造による抽出法

鈴木ら（2009）は空中電磁法により地盤からの磁場を計測し、地盤内部の比抵抗分布を調査することで、深層崩壊の発生場を抽出しようとしている。体積含水率がほぼ一様とみなせる地下水面以下では、比抵抗が低いほど風化が進行した岩盤と推定することができる。近年適用が始まった技術であり、事例の蓄積による研究が進められている段階である。

3. 3 水文的特徴による抽出手法

砂防学会（2014）は EC と湧水量を指標とした深層崩壊の発生危険流域および斜面の抽出手法を提案している。まず溪流縦断方向に EC を調査し、相対的に EC の高い場所において斜面単位で湧水量調査を実施することを提案している。国土防災株式会社（2014）では深層崩壊に寄与すると考えられる深い層の地下水を評価する指標として比流量および電気伝導度を用いている。また降水および湧水の酸素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）を用いた深い地下水を起源とする湧水の推定も試みている。砂防学会（2014）では実効雨量を用いて基岩地下水位変動を再現する簡便な関数モデルの開発を行っている。六甲等の 5 地域を対象として適用し、高い再現性を確認した。本手法を実施するためには、深層崩壊を引き起こすような、大規模な降雨イベントのデータを収集する必要がある、課題となっている。

3. 4 発生場の抽出手法に関する課題

これまでに種々な抽出手法が提案されている。それぞれで、必要な労力、精度等において優位点と欠点を有するため、実際の抽出業務においては「地形」「内部構造」「水文」の複数の指標を総合的に加味することが望ましい。現時点では、これらの指標を複数取り入れた手法も提案されているが、必ずしも最適な指標の組み合わせとなっているわけではない。今後、これまでに提案されてきている指標（地形・地質、内部構造、水文過程）の最適な組み合わせの検討が必要となろう。また、警戒・避難などのソフト対策を考えた場合、深層崩壊の発生タイミングや、リスクの高さ（斜面の活動度）を推定する手法が必要となろう。

謝辞 本研究は（一財）砂防・地すべり技術センター受託研究「大規模土砂移動の影響範囲の予測とその対応手法の整理」の助成を受けた。資料収集にあたっては紀伊山地砂防事務所他、関係機関よりご協力をいただいた。ここに付記して感謝いたします。

引用文献 林ら（2004）砂防学会誌, Vol. 57, No. 4, 48-45；清水（2008）砂防学会誌, Vol. 61, No. 6, 36-42；鈴木ら（2007）土木技術資料, 平成 19 年 5 月号；深層崩壊研究会（2013）<http://shinsouhoukai.sakura.ne.jp/top.html>；長谷川ら（2008）地盤災害・地盤環境問題論文集, Vol.8, pp.11-18；羽田野（1974）土と基礎, Vol. 22, No. 11, 85-93；岩松・下川（1986）地質学論集, Vol.28, 67-76；Chigira and Kiho（1994）Engineering Geology 38, 221-230；横山ら（2011）平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集, 410-411；地頭藪・下川（1997）砂防学会誌, Vol. 51, No. 4, 21-26；砂防学会（2014）河川砂防技術研究開発制度報告書；砂防・地すべり技術センター（2014）平成 25 年度河道閉塞箇所等砂防計画調査業報告書；中田 高, 今泉俊文編（2002）活断層詳細デジタルマップ；アジア航測株式会社（2014）新宮川流域他大規模崩壊リスク調査業務