

地震時における斜面崩壊発生場の地形・地質的検討

エイト日本技術開発 ○種平一成

国土交通省国土技術政策総合研究所 坂井佑介, 内田太郎

エイト日本技術開発 藤原康正, 橋尾宣弘, 末富岩雄

1. はじめに

近年の大規模地震では、表層崩壊に加え深層崩壊などの大規模な斜面崩壊が発生しており、被害拡大の主要因のひとつとなっている。このため、地震時の斜面崩壊の予測においては、小規模から大規模な崩壊まで包括的に危険性を評価できる手法の構築が課題となっている。大規模な斜面崩壊とその他の崩壊では、崩壊発生場の地形・地質的特徴が異なる場合があり、地震時崩壊の規模に影響する要因についてはこれまでにいくつか報告されている（例えば、八木ら、2007；濱崎ら、2015；林ら、2015 など）。しかし、崩壊規模を定量的に区分し、地形条件・地盤条件・地震特性との関係性を分析した事例は少ない。そこで本検討では、崩壊面積により大規模崩壊とその他の崩壊を区分し、崩壊発生に影響する素因・誘因の傾向の違いについて検討を行ったため、その概要を報告する。

2. 検討条件と手順

2.1 対象地震

対象地震は、国内の直下型地震のうち斜面崩壊事例が最も多く、かつ大規模な崩壊を含んでいる 2004 年新潟県中越地震、2008 年岩手宮城内陸地震、2016 年熊本地震の 3 地震とした。

2.2 影響を分析した項目

地震時の斜面崩壊に関する既往文献を収集・整理し、既往の知見として得られている影響要因について、表 2.1 のように整理した。これらの要因の影響の大きさを分析することとしたが、データの存在状況により地震毎に分析項目は異なっている。

2.3 崩壊規模の区分

本検討では、深層崩壊の規模の目安（土木研究所、2009）を参考に崩壊面積 1ha 以上の斜面崩壊を「大規模崩壊」、1ha 未満を「その他崩壊」とした。

2.4 分析手順

分析手順の概要を以下に示す。①地震前の数値標高モデル（DEM）および各種資料等から地形条件、地盤条件、地震特性等を GIS 上で 10m メッシュデータとして整理する。②地震後の崩壊地判読結果から作成した崩壊地ポリゴンを用いて崩壊メッシュを設定する。③各分析項目について階級別もしくは属性別に分類し、崩壊発生率や崩壊面積との関係について整理し、相関を分析する。崩壊発生率は、階級別・属性別の全メッシュ数に対する階級別・属性別崩壊メッシュ数の割合とし、図示する際は「大規模崩壊」と「その他崩壊」ごとに正規化（最大値を 1，最小値を 0 に変換）して比較しやすいようにした。分析方法は、単相関の分析をヒストグラムにより行うとともに、複数要因を組合せた場合についてラフ集合分析を行った。

3. 分析結果

3.1 ヒストグラムによる分析

各要因の崩壊発生率をヒストグラムに整理した結果、いくつかの要因について「大規模崩壊」と「その他崩壊」で傾向の違いがみられ、本報告ではそのうち傾斜、断層最短距離、比抵抗値、地質について以下に例示する。

①傾斜（分析対象：3 地震）：「その他崩壊」は傾斜が急になるほど崩壊発生率が高くなるが、「大規模崩壊」では 60° 前後をピークに急傾斜側で発生率が低下する傾向が 3 地震に共通してみられた（図 3.1 に中越地震の例を示す）。また、大規模化するほど階級別の平均傾斜が小さくなる傾向が 3 地震に共通してみられた（中越は 2,500m² 以上、岩手宮城は 7,500m² 以上、熊本は 1ha 以上、図 3.2 に中越地震の例を示す）。

表 2.1 影響を分析した項目

大項目	小項目	中越	岩手宮城	熊本
地形条件	傾斜	○	○	○
	起伏量	○	○	○
	平均曲率	○	○	○
	方位	○	○	○
	集水面積	○	○	○
地盤条件	地質	○	○	○
	比抵抗値		○	○
	火山灰層厚		○	
地震特性	断層最短距離	○	○	○
	等価震源距離	○	○	○
	最大加速度	○	○	○
	計測震度	○	○	○
地盤変動	地盤変動量			○

※○は地震毎の分析対象項目

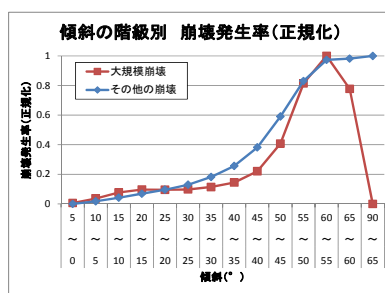


図 3.1 傾斜の階級別崩壊発生率（中越地震の例）

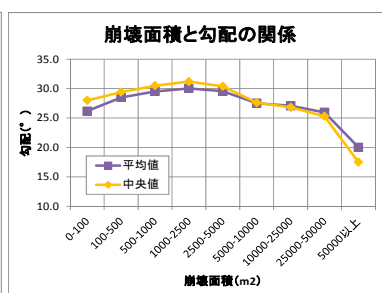


図 3.2 崩壊面積の階級と傾斜の関係（中越地震の例）

②断層最短距離（分析対象：3地震）：3地震に共通する傾向として、「大規模崩壊」は「その他崩壊」と比較して遠距離での崩壊発生率が低く（図3.3に中越地震の例を示す）、全崩壊に占める「大規模崩壊」の割合は、断層から近距離（概ね10km以内）で増加する傾向がみられた（図3.4に中越地震の例を示す）。ただし、震源断層が沖積低地等に位置する場合も多いため、必ずしも最近地点の崩壊発生率が最も高いとは限らない。

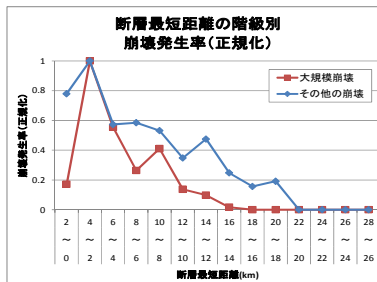


図 3.3 断層最短距離の階級別崩壊発生率（中越地震の例）

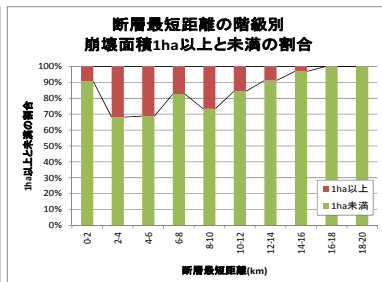


図 3.4 大規模崩壊とその他崩壊の割合（中越地震の例）

③比抵抗値（分析対象：熊本）：空中電磁探査により得られた深度0～100mの10m間隔の比抵抗値をもとに、各深度間の鉛直一次微分値（比抵抗値の差分を鉛直距離で除した値）を求めた。そして、10mメッシュ毎に微分値が最大となる深度と崩壊発生状況（1ha以上、1ha未満、非発生のいずれに該当するか）を整理し、深度別に最大微分値の頻度と発生率を集計した（図3.5）。「大規模崩壊」、「その他崩壊」とも最も頻度が高い深度は20～30mとなっており、「大規模崩壊」については60～70mにおいても高い頻度を示している。そして、「大規模崩壊」の発生率は60～70mが突出して高く、微分値の増大が「大規模崩壊」に関わる何らかの地質的特性を反映しているものと考えられる。

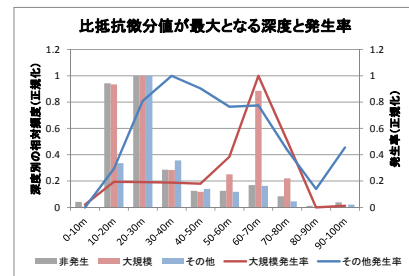


図 3.5 微分値が最大となる深度と発生率（熊本地震の例）

④地質（分析対象：3地震）：崩壊面積が大きくなるほど特定の地質に限られる傾向が3地震に共通してみられた（図3.6に熊本地震の例を示す）。大規模化に伴い優勢となる地質は、中越では新第三紀の堆積岩類、岩手宮城では火砕流堆積物、熊本ではカルデラ形成後の火砕岩や先阿蘇火山岩類などである。

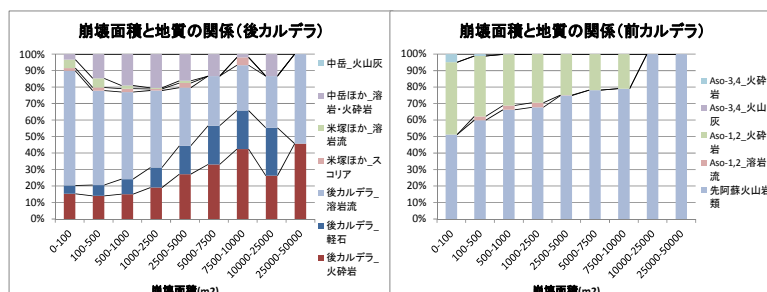


図 3.6 崩壊面積の階級と地質の割合（熊本地震の例）

3.2 ラフ集合分析

ラフ集合分析の縮約により、「大規模崩壊」と「その他崩壊」の発生に影響する要因を抽出した。傾斜等の地形量は主に「その他崩壊」の要因として選定され、「大規模崩壊」では、主要因として比抵抗値（微分値を含む）が選定された。また、地震特性に関する要因は、「大規模崩壊」、「その他崩壊」ともに複数事例で選定され、特に断層最短距離の選定頻度が高い結果が得られた。このような結果はヒストグラムによる分析結果とも整合性があり、妥当な結果と考えられる。

4. まとめと課題

斜面崩壊発生に影響すると考えられる素因、誘因について分析を行った結果に基づき、「大規模崩壊」と「その他崩壊」を区別できる可能性があるいくつかの要因についてまとめる。地形量としては、従来から地震時崩壊との関係性が指摘されている傾斜について、大規模化によって平均傾斜が緩くなる傾向がみられた。この傾向は中越地震で最も顕著であり、地すべり地形を反映したものと考えられる。このような地域では、危険箇所の推定において「大規模崩壊」と「その他崩壊」で傾斜の閾値を変更することが効果的となる可能性がある。地盤条件としては、比抵抗値が「大規模崩壊」の起こり易い地質条件（溶岩と火砕岩の互層等）を反映している可能性があり、個別斜面の精査を行うとともに事例を追加して検証していく必要がある。地震特性については、断層最短距離に近いほど（斜面が存在する範囲で）「大規模崩壊」の割合が増加し、断層から概ね10km以内で発生率が高まる傾向がみられた。

本稿では詳述していない項目についても部分的に崩壊面積との関係性がみられた要因が複数存在するため、これらの組合せを含めてより詳細に検討していく予定である。

参考文献

- 八木浩司, 山崎孝成, 渥美賢拓 (2007) : 2004年新潟県中越地震にともなう地すべり・崩壊発生場の地形・地質的特徴のGIS解析と土質特性の検討, 日本地すべり学会誌, Vol. 43, No. 5, pp. 294-306
- 濱崎英作, 檜垣大助, 林一成 (2015) : GISに基づく斜面変動予測評価のためのバッファ移動解析と過誤確率分析法, 日本地すべり学会誌, Vol. 52, No. 2, pp. 51-59
- 林一成, 濱崎英作, 八木浩司, 檜垣大助 (2015) : バッファ移動解析と過誤確率分析法を用いた地震地すべりの危険度評価モデルの構築, 日本地すべり学会誌, Vol. 52, No2, pp. 60-66
- 土木研究所 火山・土石流チーム (2009) : 「深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル (案)」に関するよくある質問と答え, p. 1