

熊本地震による崩壊土砂の斜面上堆積と二次移動発生要因

北海道大学大学院 農学院 ○梅谷涼太 斉藤はるか

北海道大学大学院 農学研究院 桂真也 林真一郎

1. はじめに

平成 28 年熊本地震により、阿蘇カルデラ壁を中心に広域で斜面崩壊が多発した。地震による崩壊土砂は斜面途中で堆積し、その後の降雨で二次移動が多く見られた。地震後の降雨での土砂の移動に関する研究としては、亀裂の有無による新規崩壊の危険性の研究や、拡大崩壊の影響について検討した事例はあるものの、地震時に堆積した崩壊土砂の移動に関する研究は少なく、実態を整理・分析することが重要であると考えられる。堆積した崩壊土砂の危険性を把握するためにも、地震で発生した崩壊土砂のうちどのようなものが二次移動したのか、また、その要因は何であったのかを明らかにすることが重要である。土砂が二次移動するケースとしては沢に堆積した土砂が降雨によって二次移動することは確認されているが、阿蘇のカルデラ壁では明瞭な沢地形を呈していない斜面において二次移動が発生している。そこで、こうした斜面において、二次移動の要因を明らかにするため、現地調査と GIS による地形解析を行った。

2. 調査地と方法

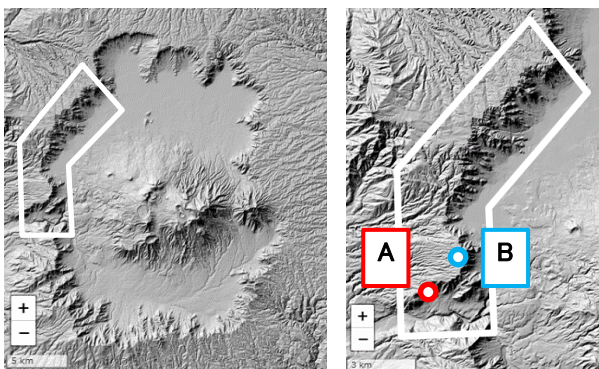


図 1 調査対象地全体図(地理院地図に加筆)

調査対象地は、斜面崩壊及びその後の二次移動が多発した熊本県の阿蘇カルデラ壁北西部とした(図1)。二次移動の発生箇所を地理院地図の空中写真をもとに特定し、代表的な 2 地点(地点 A=新所川 2、B=赤瀬1)において二次移動の堆積域から地震での崩壊発生域まで平成 29 年 12 月、平成 30 年 2 月に現地調査を行った。徒歩で登れない斜面においては、ドローンによる写真撮影を行った。

また、本研究では航空レーザ測量データ(以下 LP データ)を用いた GIS による地形解析を行った。LP データから 1m メッシュの数値標高モデル(1mDEM)を作成し、地震前後で標高差分を測定した。そのうち、標高が下がった裸地を発生域、標高が上がり崩壊土砂の堆積

が確認できた箇所を堆積域とした。地震後の降雨後の空中写真から、地震での堆積域から下方に拡大が見られた箇所を二次移動が発生したと判断し、1mDEM で算出した等高線上で概ね 1 次谷の特徴を示す集水面積 10,000m²を境として、斜面と沢に分け、斜面に分類された崩壊の堆積域について地形解析を行い空中写真から植生分類を行った。なお、現地調査を行った 2 地点の地震時の堆積域は「斜面」にあたる。

3. 結果・考察

3. 1. 現地調査

地点 A の二次移動の末端では、土混じりの径 0.2-0.5m 程度の礫が巨礫の上に堆積(図 2)しており、また堆積した土砂が侵食された痕跡がある(図 3)等、比較的新しい土砂移動の痕跡が確認された。崩壊発生域では、樹木の根系が張り出した露岩部や地震で発生したと見られる巨礫が急勾配で堆積し、さらに森林域に隣接した拡大崩壊発生箇所と見られる侵食跡(図 4)が見られた。また、ドローンで撮影した写真からは、地震後移動していない崩壊土砂の堆積が確認され、巨礫が樹木によって停止、倒木が発生している様子が確認された(図 5)。地点 B の二次移動末端部では、大きさ 0.5m 程度を中心とする礫が多数存在し、一部 2-3m 程度の巨礫が堆積していた(図 6)。地震で堆積したと見られる箇所には巨礫の堆積(図 7-赤枠)及びその後の土砂移動の痕跡(図 7-青枠、図 8)が見られ、崩壊土砂の堆積直下には新たな崩壊発生跡が見られた(図 7-黄枠、図 9)。土砂移動の痕跡は、地震時に堆積した崩壊土砂の脇



図 2 細粒土砂の堆積

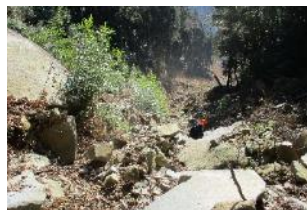


図 3 堆積した崩壊土砂の侵食



図 4 巨礫の捕捉と拡大崩壊跡

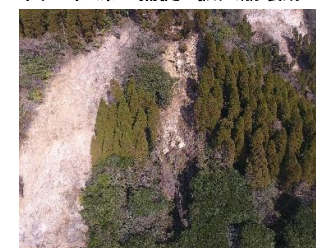


図 5 樹木による崩壊土砂の捕捉



図 6 二次移動堆積物



図7 地点B 二次移動全体図

にあり、一部地震前の表層を侵食した様子も見られた。表層が侵食された部分では、移動しやすい小径礫を主とする、過去の崩壊堆積物と見られる礫層が確認された(図10)。

現地調査の結果より、地震時の崩壊土砂は樹木によって捕捉されているケースが確認され、また、巨礫成分を多く含み、地震後の降雨では大きく移動しない様子であった。二次移動が確認された土砂としては、細粒土砂や小礫を主成分としていて、それらの移動により侵食が進んでいる箇所も見られた。侵食は表層内の小礫も巻き込み、地震で堆積した崩壊土砂の脇を削るように発生しており、この小規模な土砂移動現象が、崩壊発生域や堆積域に存在している不安定な土砂を大規模に二次移動させる契機となっている可能性が考えられた。

3.2. GISによる地形解析

次に GIS における地形解析の結果を示す。斜面の崩壊土砂堆積域の地形条件を、二次移動の発生の有無別に整理した。勾配に着目してみると(図11)、地震時に堆積した崩壊土砂は 30°~40° をピークとなる形で存在していた。その中で二次移動が発生したものは、最も小さい勾配で 29.6° であり、およそ 30° を閾値として

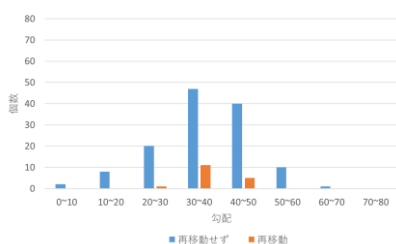


図11 堆積域の勾配分布



図8 巨礫上の土砂移動動跡



図9 堆積直下の新規崩壊



図10 表層に含まれる礫層

発生する傾向が見られた。曲率(図12)は、凹地形を示す地形で堆積した崩壊土砂が二次移動する

傾向にあった。また、植生で区分したところ、二次移動は森林域で発生していた(図13)。地震後の崩壊土砂の二次移動には樹木の影響が大きく関与していると考えられた。現地調査では樹木の根系による土砂の捕捉や樹木本体による土砂の堆積が確認されたが、急斜面においてはそれらが土砂を不安定化させ、二次移動する要因になったのではと考えられる。

地形解析の結果より、二次移動は凹地形を示す急勾配斜面で発生しており、また、樹木が二次移動の発生に関与していることが確認された。

谷口ら(2001)によれば、風倒木が存在する斜面において、降雨規模が小さい降雨によって崩壊が多数発生したことが報告されている。斜面の剪断抵抗力の低下や浸透能の変化などが要因として挙げられているが、今回の二次移動ではそれに加え、崩壊斜面内の細粒土砂等の土砂移動も要因として存在している可能性がある。

4. まとめ

地震後の降雨による二次移動の要因に関して以下の可能性が示唆された。①地震時に堆積した崩壊土砂は、2~3m 程度の巨礫については降雨で二次移動することは少ない。②地震後の降雨により0.2~1.0m 程度の細粒土砂や小礫が二次移動していて、その際、露出している地震前の地表を侵食する。③侵食に伴い、発生域や堆積域に不安定な土砂礫が存在すると、大規模な二次移動に繋がる場合があると考えられる。④急勾配の森林では、樹木の根系による土砂の捕捉や樹木本体による土砂の堆積が、二次移動の発生の契機となっている可能性がある。今後も現地調査と地形解析の両面から研究を進め、溪流における二次移動の発生要因も考慮した上で、地震で堆積した崩壊土砂の危険度を把握できる手法を検討していく。

謝辞

(図12)本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発公募砂防技術分野「大規模地震とそれに伴う地盤の劣化に起因する連鎖複合型土砂災害の発生機構と対策」により実施した。並びに国土交通省九州地方整備局から平成28年熊本地震後のLPデータを提供いただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

谷口ら(2001). 風倒木発生斜面における崩壊発生降雨量の変化. 砂防学会誌: 54(1), 77-80.

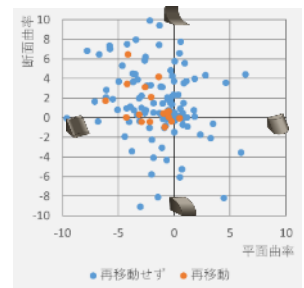


図12 堆積域の曲率分布

図13 堆積域の植生分布

植生分布 (Forest: 森林, Grassland: 草地)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)

再移動せず (Blue), 再移動 (Orange)

森林 (Forest), 草地 (Grassland)