

六甲山における土砂移動時の降雨特徴と地形特徴の対応関係

京都大学大学院 農学研究科(現 日本工営株式会社) ○吉田淳樹

京都大学大学院 農学研究科 小杉賢一朗

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 小竹利明・小林英彦・岸本昌之・和泉美智子

1, はじめに

近年の局地的な豪雨の多発化に伴い、土砂災害の件数も増加傾向となっている。六甲山においても、花崗岩の風化に伴う脆弱化が素因となり、表層崩壊が多く発生する傾向がみられる。しかし1つの降雨イベントによりすべての斜面が崩壊するわけではなく、崩壊と非崩壊斜面が分布する。さらに非崩壊斜面はそれ以降、異なった特徴をもつ降雨イベントにて崩壊する場合がある。

本研究ではこの点に着目し、複数回の降雨イベントについて、その特徴の解析と、それにより発生した崩壊斜面の地形解析から、降雨パターンと崩壊パターンの対応関係について解析を行った。

2, 解析手法

2.1, 対象地

対象地は六甲山系住吉川流域内の西滝ヶ谷(146ha)(図1)とした。ここでは平成26年台風11号(以降2014年災害)により10ヶ所(図1の緑点)、および平成30年7月豪雨(以降2018年災害)により32ヶ所(図1の赤点)の新規崩壊が発生した。

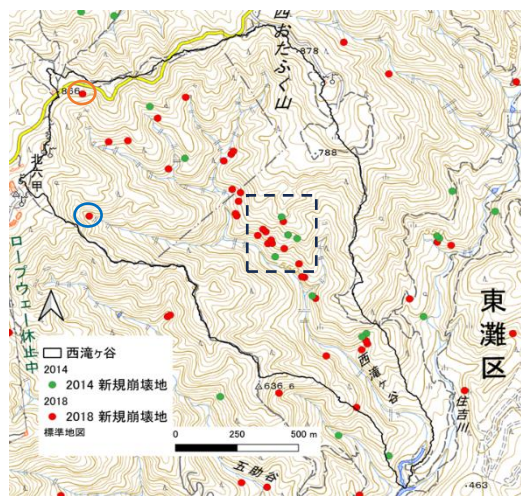


図1 西滝ヶ谷における崩壊分布
国土地理院地図より引用・編集

2.2, 降雨解析

降雨解析にあたり、2006年より記録されている1km解析雨量を用いた。さらに降雨の特徴を、小杉(2015)の手法を用いて、実効雨量が既往最大値を記録する半減期の値で評価した。半減期 M における時刻 t の実効雨量 $X(M, t)$ の値は次のようになる。

$$X(M, t) = X(M, t-1)e^{\alpha} + R(t)$$

$$\alpha = \ln(0.5)/M$$

$\alpha[h^{-1}]$: 減少係数 $R(t)$: 時刻 $t-1 \sim t$ の雨量

時刻 t にて発生した降雨 $R(t)$ の影響は、 M 時間経過すると半分になる。この半減期 M を 0 に収束させると降雨強度を、無限に発散させると積算雨

量を表すようになる。そこで半減期 M を 0.1~3000h の間で 51 通り変化させ、実効雨量の値が既往最大値を最も大きく超過した場合の半減期 M を算定した。

2.3, 地形解析

地形解析を行うための標高データとして、2011, 2014, 2017, 2021 年に撮影された 1mDEM を用いた。2014 年災害では 2011 年撮影分を、2018 年災害では 2017 年の撮影分を新規崩壊地に空間結合することで、崩壊地内における標高を 1m 間隔で取得した。この標高データから、崩壊面積・傾斜・崩壊土砂量・集水面積を算出した。各項目の解析方法は表1の通りである。なお崩壊土砂量解析における差分データは、2014 年災害では 2014 年と 2011 年撮影分、2018 年災害では 2021 年と 2017 年撮影分から求めた。

解析項目	解析方法
崩壊面積	1m 標高値の出現総数から算出
傾斜	QGIS プラグイン GDAL slope 1m 間隔の傾斜値を総和から算出
崩壊土砂量	1m 間隔の差分値を総和から算出
集水面積	崩壊地内における最高標高地点を基準に、内田ら(2009)を参考に、SAGA Upslope Area で解析

表1 地形解析の解析手法

3, 解析結果

3.1, 降雨解析

降雨解析結果を、図2に示す。図2上の模式図は、2.2の解析で使用した51通りの半減期を等間隔で分類したものであり、寒色系の色に進むにつれ降雨強度を、暖色系の色に進むにつれ積算雨量を表すようになる。図左下から2014年災害では降雨強度の影響が強く表れ、2018年災害では積算雨量の影響が強く表れる結果となった。実際に、2014年災害では時間雨量 80 mm, 2018年災害

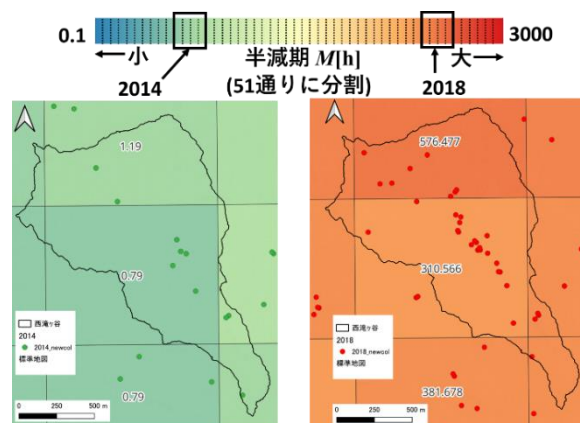


図2 既往最大値より最も超過した幅が大きい半減期の分布

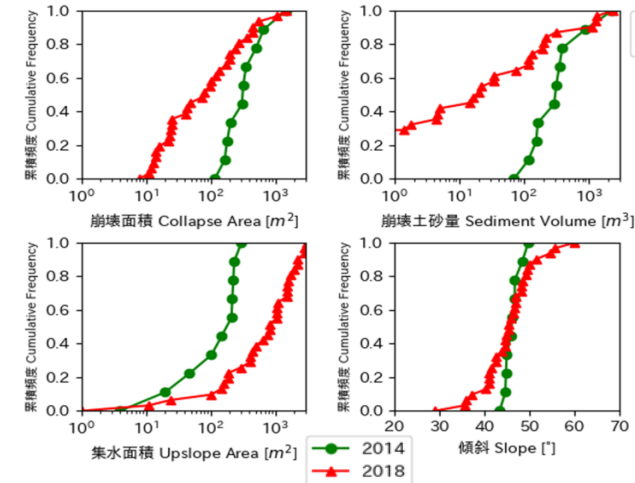


図3 各地形量の累積頻度分布図

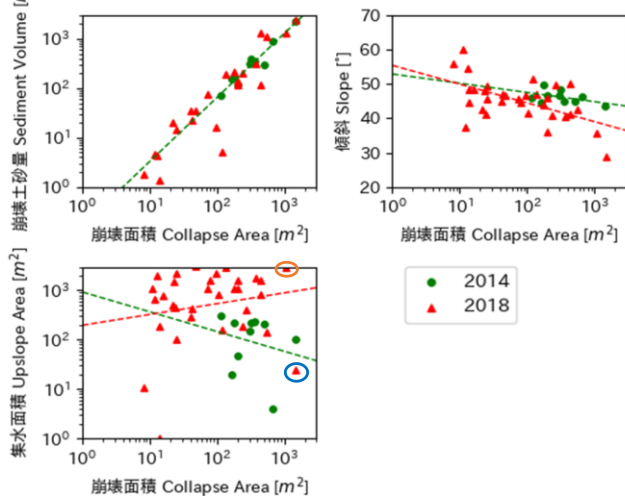


図4 崩壊面積と各地形量の散布図

では積算雨量 700 mm を記録し、それぞれ降雨強度と積算雨量が過去に経験のない規模で発生したことがわかった。

3.2, 地形解析

各地形量の累積頻度分布図を図3に示す。全体的な傾向として、2014年災害の崩壊地は2018年災害地と比較し、崩壊面積・崩壊土砂量で大きい傾向、集水面積が小さい傾向を示すことがわかった。また傾斜では、2014年災害では40-50°の一定範囲で分布し、2018年では緩勾配や急勾配斜面など様々な斜面が崩壊したことがわかった。なお2018年災害で崩壊土砂量が負をとっているものがあるが、これは小面積での崩壊において1mDEMの観測誤算により生じたと推察される。

図4に崩壊面積に対する各地形量の散布図を示す。崩壊土砂量との関係から、2014年災害より2018年災害の崩壊は小規模なものが目立つ。また傾斜との関係から、同じ程度の崩壊面積では2018年災害は緩勾配であり、2014年災害より小規模な崩壊面積のものは急勾配で発生している。さらに崩壊面積と集水面積との関係から、2018年の崩壊は2014年と比べ概に大きな集水面積をもつ箇所で発生したことが分かった。しかし、2018年の崩壊面積と集水面積の関係において、青丸のように集水面積は小さくとも崩壊面積が1位であるものがみられた。

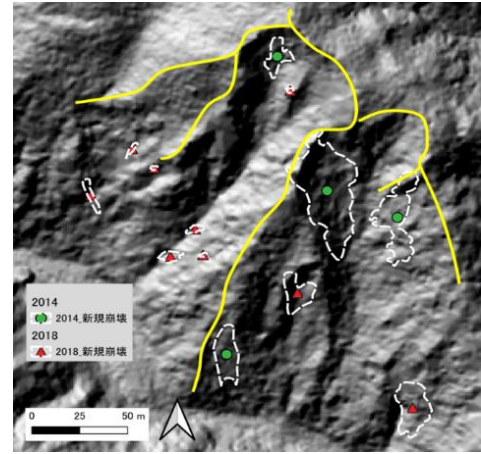


図5 図1中の黒枠線内の拡大図

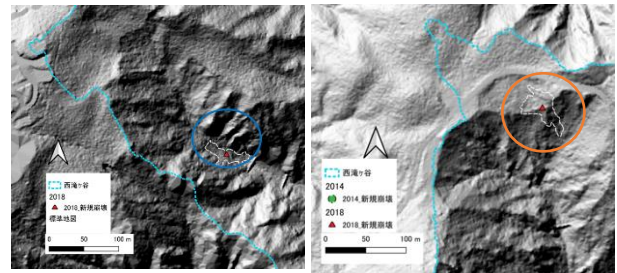


図6 図1中の青丸とオレンジ丸の拡大図

4, 考察

4.1, 2014年災害

2014年災害においては、降雨強度が未曾有なものとなり、規模の大きな崩壊が集水面積の小さい箇所で発生した。ここで図5は、図1内の黒枠線を拡大し陰影図に崩壊地を載せた図である。緑点で示した2014年災害における崩壊地に着目すると、黄色線のような比較的明瞭な尾根線や遷急線上を源頭部として発生している。ここから、大きな降雨強度により雨水が急速に鉛直浸透し、土層と風化基岩層を境界面として地下水位が急速に上昇し、急勾配かつ土層が薄い場所での崩壊が卓越したのだと考えられる。

4.2, 2018年災害

2018年災害では、積算雨量が未曾有なものとなり、小規模な崩壊が大きな集水面積をもつ箇所で多く発生した。図5の赤点が2018年災害の崩壊を表しており、山体斜面下部に集中していることが分かった。六甲山においては風化基岩層に多量の雨水が浸透することが分かっており、長時間の降雨で地下水位が上昇し湧水量が急激に上昇し崩壊したのだと考えられる。また図4の青丸は図6左のような、一次谷源頭部から発生しており、集水面積の大きな箇所に多量の雨水が供給され土石流的な大規模崩壊が発生したと考えられる。また図4のオレンジ丸は図6右の地点にて発生している。六甲山稜線沿いにおける過去の空中電磁探査の深層部の結果から、深層部に多量の地下水が存在していることが示唆されており、多量の雨水が深層部へ浸透し大規模な崩壊へと至ったと考えられた。

参考文献

小杉賢一郎(2015): 砂防学会誌, vol.67, No.5, p12-23
内田ら(2009): 砂防学会誌, Vol.62, No.1, p.23-31