

降雨ピークから遅れて発生する斜面崩壊に関する実態分析

国土技術政策総合研究所 ○鈴木大和、神山嬢子（現 土木研究所）、戸舘 光、野呂智之
アジア航測株式会社 吉野弘祐、秋山怜子、松田昌之

1 はじめに

発生頻度は低い、降雨の停止後や小康状態の時に斜面崩壊が発生する場合がある。このような時間帯は、住民の避難所からの帰宅や消防・警察・国土交通省等が災害現場で活動する時間帯と重なる恐れがある。そのため、降雨ピークを過ぎた後においても、適時適切な警戒避難対応を行う必要がある。そこで、このような斜面崩壊の実態を解明することを目的として、降雨ピークから遅れて発生した斜面崩壊の形態や特徴を分析し、遅れが生じた要因とメカニズムについて考察を行った。

2 方法

2.1 分析対象

降雨ピークからの遅れを判断する方法として、降雨波形からピーク時点を読み取る方法¹⁾がある。しかし、ハイトグラフの波形が複雑または単調な場合には降雨ピーク時の一点を設定することが難しい。また、降雨の小康状態時の適切な警戒対応を見極めることが目的であり、現在の危険度評価指標を目安とすることが妥当であると考えた。そこで、本分析では土壤雨量指数のピーク後の時間帯を降雨ピーク後とした。

土壤雨量指数のピーク後に崩壊が発生したことが明らかな事例のうち、崩壊現象等に関する比較的詳細な調査結果がある19件を分析対象とした。

2.2 分析方法

降雨ピークから遅れて発生する斜面崩壊については、崩壊に寄与する降雨量や崩壊規模等が大小様々であった²⁾。そこで、降雨ピークから遅れて崩壊に至るまでの雨水浸透過程や地下水の挙動等に幾つか種類があると仮定し、分析対象の崩壊形態ごとに類型化をした後に、分類ごとに遅れが生じたメカニズムを考察する。

具体的には、文献調査等を行い、崩壊形態（基岩の崩壊状況・崩壊土量・崩壊深）、崩土の状況（流動性の高い土砂の流出等の記述の有無）を整理した。その崩壊形態が類似する事例ごとに分類を行い、その他の崩壊斜面の特徴や現象の類似点を分析した。また、分類ごとに連続雨量（崩壊直前の一連降雨量）の違いを確認した。以上の結果と既往の崩壊メカニズムに関する研究事例を照らし合わせ、降雨ピークから遅れて崩壊が発生した要因・メカニズムを分類ごとに考察した。

3 結果

3.1 崩壊形態による分類

分析対象とした崩壊形態の特徴を整理した結果を表-1に示す。まず、斜面内の残積土の崩壊と崩積土（崖錐堆積物）の崩壊の2種類に大別できる。また、前者については、基岩内にすべり面がある崩壊と基岩上をすべり面とする崩壊の2種類に分けることができる。キャッ

表-1 分析対象の崩壊形態の特徴

事例	年月日	場所	基岩の崩壊	崩壊土量 (m ³)	崩壊深 (m)	崩土の流動化	その他の特徴
A	1981/07/04	広島県江田島市江田島町		600	5.0		崖錐堆積物の崩壊
B	1983/07/23	島根県浜田市穂出町中場		15,000	10.0	○	
C	1997/07/10	鹿児島県出水市境町（針原川）	○	130,000	30.0		
D	1997/07/14	熊本県坂本村油谷川左岸	○	100,000	15以上		
E	1998/08/31	神奈川県相模湖町崩壊地C	○	3,500	3.0		
F	2001/06/24	広島県東広島市福富町		1,200	1.5		崖錐堆積物の崩壊
G	2005/09/06	鹿児島県垂水市新御堂	○	3,000	5.0		
H	2005/09/06	大分県竹田市次倉		3,400	15.0	○	
I	2005/09/06	宮崎県美郷町（旧西郷村）野々尾地区（耳川）	○	1,080,000	40.0		
J	2006/07/19	長野県辰野町小野中村地区（飯沼地区）		2,700	8.0	○	
K	2006/07/19	長野県辰野町小横川地区		10,600	5.0		崖錐堆積物の崩壊
L	2006/07/22	鹿児島県姶刈町下手仲間		1,800	2.0	○	
M	2010/07/04	鹿児島県南大隅町船石川（1波目）	○	30,000	40.0	○	キャップロック構造斜面の転倒崩壊
N	2011/07/19	高知県安芸郡北川村平鍋地区	○	188,000	20.0		
O	2011/09/04	三重県大台町岩井持山谷川	○	366,300	35.0		
P	2011/09/04	奈良県天川村坪内・冷水	○	1,702,776	40.6		
Q	2014/08/24	北海道礼文町船泊村高山地区		700~800	1.8	○	崖錐堆積物の崩壊
R	2015/06/24	鹿児島県垂水市牛根地区深港川（1波目）	○	22,300	3.7	○	キャップロック構造斜面の転倒崩壊
S	2016/08/24	北海道羅臼町海岸町		19,000	8.0~10.0	○	

ブロック構造を有する斜面の転倒崩壊は、特異な崩壊として別の分類とした。分類の過程と結果を図-1に示す。

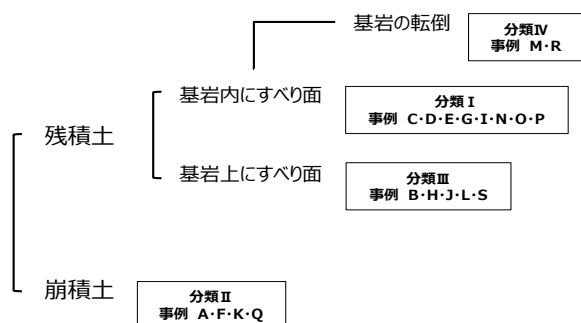


図-1 崩壊形態による分類過程と結果

3.2 分類ごとの他の特徴

分類Ⅰは事例Cを除く8件中7件が堆積岩・付加体斜面の崩壊であった。また、深層崩壊の定義³⁾に合致する規模の崩壊が多い。分類Ⅱは 10^4m^3 以下程度の比較的小さい崩壊規模であった。分類Ⅲはすべて崩土が流動化し、泥質や火山性の細粒分で構成された厚い土層があったことが報告されている。また、事例HとSでは短時間(数分から1時間程度の間)に数回の崩壊が連続する現象が確認された。分類Ⅳの2件はいずれも数日間にわたり複数回の崩壊が発生した。なお、土壌雨量指数のピーク時刻から崩壊に至るまでの遅れ時間には、分類ごとに明瞭な特徴はなかった。

3.3 分類ごとの雨量の特徴

崩壊直前の降雨の連続雨量を分類ごとにプロットした(図-2)。分類Ⅰは500~1,000mm程度の比較的多量の降雨があった。分類Ⅲは500mm前後の分布が多く、分類ⅡやⅣは直前の一連降雨は比較的小量であった。

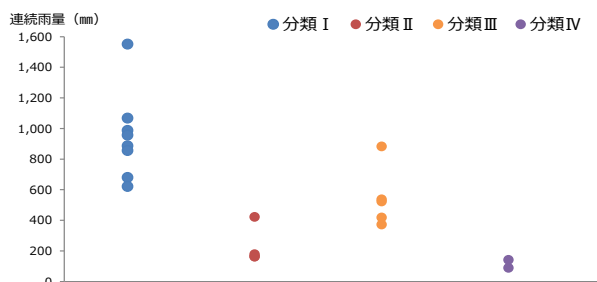


図-2 分類ごとの連続雨量

以上の結果から崩壊形態ごとに崩壊斜面の特徴や雨量規模に違いがあることを確認した。以下で、降雨浸透や地下水位の挙動等に遅れが生じた過程を考察する。

4 考察

4.1 分類Ⅰの遅れ発生メカニズム

分類Ⅰの8件は連続雨量が600mm以上と比較的多く、基岩からの崩壊である。また、事例Cを除く7件は堆積岩・付加体斜面での崩壊であった。このことから、深層崩壊の発生メカニズムに関する既往研究結果⁴⁾と合致している。したがって、岩盤の亀裂等を通じた雨水の浸透過程が斜面深層部の間隙水圧上昇におけるタイム

ラグに繋がった結果、降雨ピークから遅れて崩壊に至ったと考えられる。

4.2 分類Ⅱの遅れ発生メカニズム

分類Ⅱの4件は連続雨量が少なく、表層の比較的小規模な崖錐堆積物の崩壊(再移動)であった。シラス斜面の崖錐内では、崖錐表面の雨水浸透よりも崖錐の形成元となる斜面からの地下水流出の影響が崖錐の地下水位の上昇に寄与することが報告されている⁵⁾。シラス斜面に限らず、この流出プロセスが、降雨ピークから遅れた崖錐内部の地下水位の上昇の要因であると推察する。

4.3 分類Ⅲの遅れ発生メカニズム

分類Ⅲは連続雨量が比較的多いものの、分類Ⅰのような基岩からの崩壊は確認できず、崩土が流動化する特徴があった。流動化した崩土は、基岩との境界をすべり面とした泥質な風化細粒分やローム層が厚く堆積したものが主であった。飽和透水性が小さい土層が雨水の浸透を遅らせ、間隙水圧の緩やかな上昇・減少に繋がった結果、降雨ピークとの時間差が生じたと考えられる⁶⁾。また、火山性地域によく見られる緩斜面や平坦な地形が土層を厚くさせたことも要因として考えられる⁷⁾。

4.4 分類Ⅳの遅れ発生メカニズム

分類Ⅳのようなキャップロック構造(上部の節理構造が発達した溶結部と下部の非溶結部)を有する斜面にて境界部からの湧水による洗掘作用が働き、上部基岩が転倒崩壊することが報告されている⁸⁾。この湧水による洗掘作用に起因するため、降雨強度に影響を受けることなく、数日間にわたって連続的な崩壊が発生したと考えられる。

5 おわりに

降雨ピークから遅れて発生する斜面崩壊を分析し、4種類の形態に分類した。分類ごとに遅れが生じたメカニズムの推察を行い、遅れが生じた過程に違いがある可能性を示した。分類Ⅰの崩壊については比較的多くの研究がされ、崩壊に至るメカニズムが解明されつつあるが、分類ⅡやⅢに関する知見は非常に乏しいと言える。今後は、分類ⅡやⅢの条件が該当する斜面において、土質・土層構造、降雨浸透や地下水変動のプロセス等の調査・観測を行い、遅れが生じるメカニズムを明らかにしていきたい。

【参考文献】1)八反地：降雨を起因とする深層崩壊の特徴，砂防学会誌，Vol.55，No.6，p.74-77，2003 2)鈴木ら：降雨ピークから遅れて発生する土砂災害に関する基礎的検討，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p.298-299，2017 3)砂防学会：深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会報告・提言，2012 4)例えば、恩田ら：降雨流出ピークの遅れ時間の違いからみた崩壊発生時刻予知の可能性，砂防学会誌，Vol.51，No.5，p.48-52，1999 5)地頭菌ら：シラス地域の水文地形とシラス斜面崖錐部の崩壊，地形，Vol.23，No.4，p.611-626，2002 6)地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測，2006 7)白木：小流域での2次ピーク生成についての数値実験，水文・水資源学会誌，Vol.19，No.4，p.258-266，2006 8)下川ら：2010年(平成22年)7月鹿児島県南大隅町で発生した連続土流災害，砂防学会誌，Vol.63，No.3，p.50-53，2010