

降雨パターンの崩壊形態に及ぼす影響

京都大学大学院

○大塩清太郎

京都大学防災研究所 堤大三・藤田正治

1. はじめに

科学技術が進歩した近年においても、日本各地では毎年、500～1500件程度の土砂災害が発生している。これらの被害を防ぐためには、斜面崩壊の規模や発生時刻を正確に予測することが重要となる。また、近年では、降雨量・気温などの気象条件が変化しつつあり、斜面崩壊に影響を与えるこれらの要因について気象・気候学的側面からのアプローチの重要性が高まってきている。堤ら¹⁾は、2005年台風14号により大分県竹田市で発生した斜面崩壊に対して数値シミュレーションを行い、崩壊発生時刻・崩壊形状を精度良く再現している。また、この時のハイトグラフを総降雨量一定で引き延ばしたり縮めたりした時の安全率変化、崩壊形状などの違いについて検討している。そこで、本研究では、この研究をさらに進めて、大分県竹田市における降雨パターンの変化傾向の把握および降雨パターンの違いによる斜面の安全率の変化特性の違いについて検討する。

2. 降雨パターンの変化傾向

大分県竹田市における降雨パターンの変化傾向を把握するため、大分地方気象台竹田地域気象観測所の降雨量データを用いて解析を行った。まず、降雨のハイトグラフの形状に着目する。図-1は各年代の総降雨量上位5番目までの降雨についてまとめたものである。なお、横軸は降雨開始時を0、降雨継続時間の中心を0.5、降雨終了時を1とした時の降雨ピークの位置を表している。また、縦軸は降雨ピーク時の降雨強度を平均降雨強度で割ることにより、降雨ピークの立ち上がりの度合いを表している。図-1より、1990年以前では降雨ピークが降雨の中盤・後半でのみ見られるのに対し、1991年以降では降雨ピークが降雨の前半にも見られることが分かる。次に、降雨の規模に着目する。図-2は各年の最大降雨強度の経年変化、図-3は各年における一降雨の最大総降雨量の経年変化を表している。これらより、最大降雨強度および一降雨の最大総降雨量は共に増加傾向にあり、降雨規模が拡大傾向にあることが分かる。

3. 数値シミュレーション

3.1 降雨浸透解析

降雨浸透に伴う斜面土層内の土壌水分および地下水位の変動を検討するため、降雨浸透解析を行った。浸透解析の基礎式はRichards式であり、有限要素法により解いた。

3.2 斜面安定解析

降雨浸透解析から得られた斜面土層内の圧力水頭分布を入力値として、斜面安定解析を行った。斜面安定解析法としては、任意のすべり面形状に対応できる簡易Janbu法を採

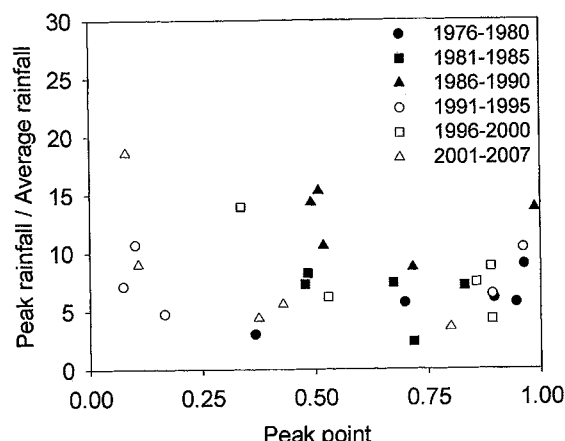


図-1 降雨ピークの位置と立ち上がりの変化傾向

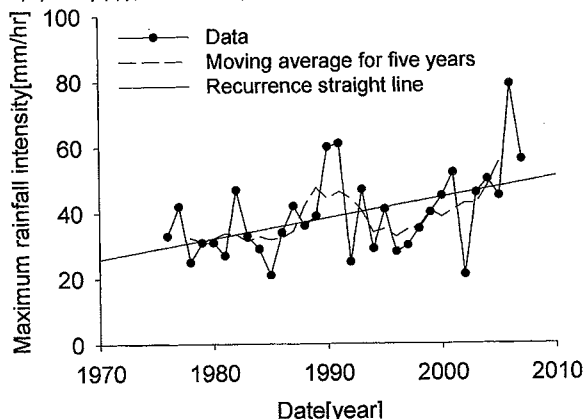


図-2 最大降雨強度の変化傾向

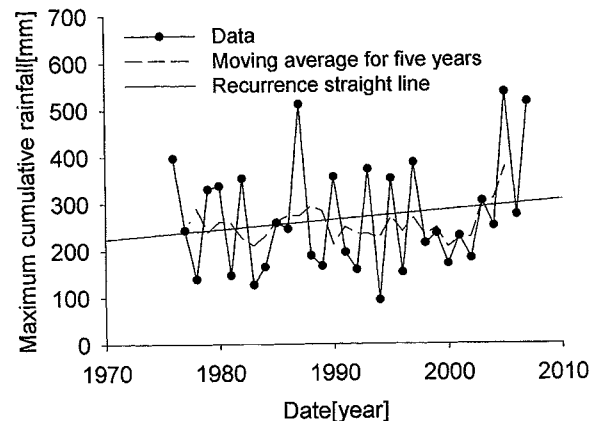


図-3 一降雨の最大総降雨量の変化傾向

用し、臨界すべり面を動的計画法 (DP 法) により決定した。

3.3 解析条件

3.3.1 降雨浸透解析

斜面を x - z 断面の2次元とし、斜面形状は、大分県砂防課の資料²⁾と現地調査で得られた情報を基にして表面地形と基盤形状を決定した。また、土層を表層、中層、下層に分割し、それぞれ実測した水理特性パラメータを与えた。これらを表-1に示す。ここで、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残

留体積含水率、 ψ_m は有効飽和度 $S_e=0.5$ の時の圧力水頭、 σ は孔隙径分布の幅、 K_s は飽和透水係数である。斜面上端、底面は不透水条件、斜面下端は大気開放とし土層浸透水が排出される条件とした。堤らと同様に、解析開始時の初期水分状態は、圧力水頭分布を斜面形状に線形的に与えた土層に最大降雨強度 5mm/hr の sin カーブの降雨を 1 日間与え、その後、5 日間無降雨状態にした土層に、2005 年 8 月 1 日 0:00~9 月 4 日 0:00 までの実測降雨値を与えて計算した圧力水頭分布を用いた。

3. 3. 2 斜面安定解析

土層の強度を表すパラメータである内部摩擦角 ϕ と粘着力 c は、 $\phi=0.30$ rad (17°)、 $c=1.96 \times 10^4$ N/m² (2.0×10^3 kgf/m²) とした。

3. 4 降雨パターンと安全率の関係性

降雨パターンと安全率の関係性を検討するため、典型的な降雨パターンに該当する実測降雨の総降雨量を既往最大である 2005 年台風 14 号の際の総降雨量にフィッティングさせた降雨パターンを用いて解析を行った。なお、実測降雨は 2005 年台風 14 号以前の規模の大きい降雨を用いた。一般に、典型的な降雨パターンは降雨ピークが降雨の前半・中盤・後半にあるもの、および降雨ピークがないものに分類される。しかし、降雨ピークが降雨の前半にあるものは比較的少ないため、ここでは、それ以外の典型的な降雨パターンについて解析を行った。図-4 はそれぞれ典型的な降雨パターンを表したものであり、(a) は降雨ピークが降雨の中盤にあるもの、(b) は降雨ピークが降雨の後半にあるもの、(c) は降雨ピークがないものである。また、それぞれ実測降雨パターンを Case1、総降雨量を 2005 年台風 14 号の際と同じになるようにフィッティングした降雨パターンを Case2 とし、計算された安全率変化も示している。図-4 より、安全率の低下の度合いは降雨強度に大きく影響されることが分かる。そのため、降雨ピークがある (a)、(b) の降雨パターンでは、降雨ピーク付近で安全率が急激に低下する。一方、降雨ピークがない (c) の降雨パターンでは、安全率が緩やかに低下し続ける。まず、Case1 では降雨パターンに関わらず崩壊が発生していないことから、2005 年台風 14 号以前の豪雨時には斜面の安定性が保たれ、2005 年台風 14 号により崩壊が発生するという実際の現象に一致することが分かる。次に、Case2 では総降雨量が一定であるにも関わらず、崩壊が発生しているのは降雨ピークが降雨の後半にある (b) の降雨パターンのみであり、2005 年台風 14 号の際の降雨パターン (図-5) も同様の特徴をもつ。このことから、総降雨量が一定の場合、降雨ピークが降雨の後半にある降雨パターンで崩壊が発生しやすいことが分かる。この理由は、降雨ピークを迎えるまでの積算降雨量が多く、それによって安全率がある程度低下した状態で安全率が急激に低下する降雨ピークを迎えるためであると考えられる。

表-1 土壌の水理特性パラメータ

	Surface	Middle	Lower
θ_s [m ³ /m ³]	0.646	0.595	0.682
θ_r [m ³ /m ³]	0.477	0.441	0.577
ψ_m [cm]	-792	-595	-797
σ [-]	0.875	1.36	1.02
K_s [cm/s]	2.42×10^{-2}	3.32×10^{-3}	5.69×10^{-4}

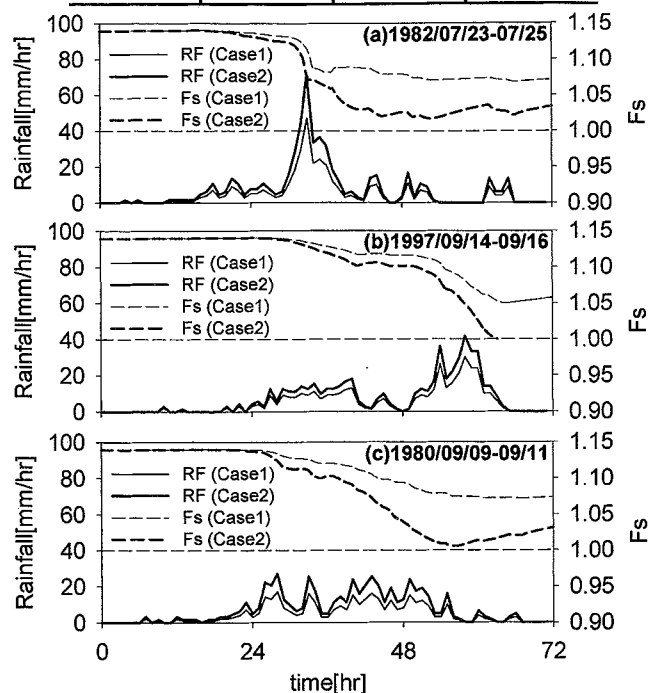


図-4 典型的な降雨パターンでの安全率変化

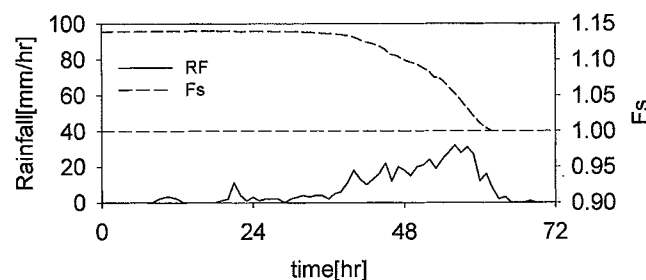


図-5 2005 年台風 14 号の際の安全率変化

4. おわりに

本研究では、降雨パターンの変化傾向について、降雨ピークが降雨の中盤・後半にあるものが非常に多く、降雨の規模が拡大傾向にあることが示された。このような降雨パターンの変化は、斜面崩壊発生の危険性を高めると考えられる。以上のように、いくつかの重要な知見が得られたが、数値シミュレーションに関して、 x - z 断面の 2 次元解析であること、すべり面や基岩面の 3 次元形状が再現されていないことなどの問題がある。そのため、今後、これらの点を改善し、定量的な評価を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 堤大三・藤田正治・林雄二郎：2005 年台風 14 号により大分県竹田市で発生した斜面崩壊に関する数値シミュレーション、水工学論文集、第 51 巻、pp. 931-936、2007.
- 2) 大分県砂防課：H17 発生災害関係資料、2005.