

### 1. はじめに

近年、地球温暖化や異常気象が発生し、わが国においても降雨量・気温などの気象条件が変化しつつある。そのため、今後の気候変動の進展が懸念されており、正確に予測することが重要である。そのためには、現在までの気候変動の実態を把握しなければならない。そして、気候変動の様々なシナリオに対して、土砂災害の形態がどのように変化していくのか検討する必要がある。そこで、本研究では、過去の降雨量データをもとに、一降雨あたりの降雨特性の変化傾向について把握した上で、数値シミュレーションにより降雨特性と斜面崩壊特性の関係性について検討する。

### 2. 降雨特性の変化傾向

わが国における降雨特性の変化傾向を把握するため、大分県竹田市・鹿児島県枕崎市・熊本県水俣市・島根県浜田市・広島県呉市・福井県敦賀市・三重県尾鷲市の降雨量データを用いて解析を行った。図-1 に大分県竹田市の一降雨あたりの総降雨量と最大降雨強度の関係を示す。これは各年代の総降雨量および時間雨量上位 20 番目までの降雨についてまとめたものである。なお、2006 年～2008 年については総降雨量および時間雨量の最上位の降雨を示している。図-1 より、竹田市では 1991 年以降、90% 確率を大きく超える降雨が多く観測されていることが分かる。また、近年では、総降雨量および最大降雨強度のどちらか一方が大きい降雨が観測されており、極端現象が増加傾向にあると考えられる。このような傾向は枕崎市でも見られる。その他の地点の傾向としては近年、水俣市では総降雨量だけが大きい降雨が観測されており、尾鷲市では総降雨量と最大降雨強度がともに大きい降雨が観測されている。一方、浜田市や敦賀市では 1990 年以前に 90% 確率を大きく超える降雨が観測されており、近年では 90% 確率を大きく超える降雨は観測されていない。また、呉市では過去には総降雨量が大きい降雨が観測されていたが、近年では最大降雨強度の大きい降雨が観測される傾向にある。このように、わが国における降雨特性の変化傾向は地域により異なることが分かる。

### 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。解析条件は、参考文献に示す<sup>1)</sup>。

#### 3.2 斜面安定解析

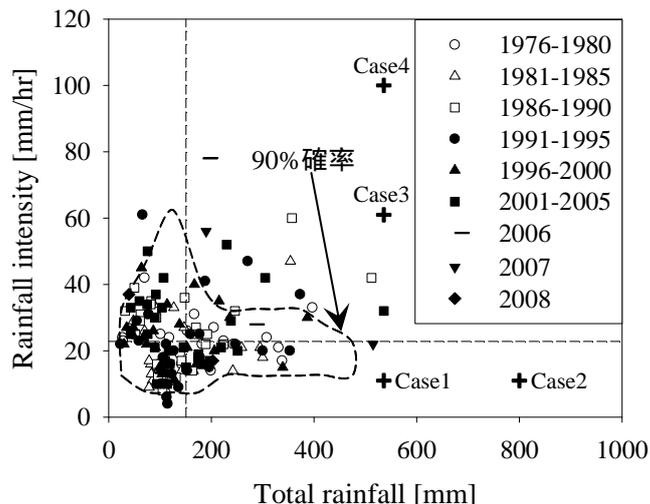


図-1 一降雨あたりの総降雨量と最大降雨強度 (大分県竹田市)

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 法を採用し、臨界すべり面を動的計画法 (DP 法) により決定した。解析条件は、参考文献に示す<sup>1)</sup>。

### 3.3 降雨特性と斜面崩壊特性の関係性

降雨特性と斜面崩壊特性の関係性を検討するため、三角形分布のモデル降雨を用いて解析を行った。降雨規模 (一降雨の総降雨量・最大降雨強度) は、図-1 を参考に決定した。図-1 には解析で用いた Case1 ~ Case4 の降雨規模を示している。また、ハイトグラフの形状は、降雨ピークが前半にあるものを Type1、後半にあるものを Type2 とした。ここでは、降雨強度の小さい降雨が長時間降り続いた場合と、総降雨量を一定とし最大降雨強度を変化させた場合について検討を行った。

#### 3.3.1 降雨強度の小さい降雨が長時間降り続いた場合

図-2 はそれぞれ降雨強度の小さい降雨が長時間降り続いた場合の降雨パターンと安全率の関係を示したものである。ここで、Case1 は最大降雨強度を 11mm/hr、総降雨量を 536mm とした場合、Case2 は最大降雨強度を 11mm/hr、総降雨量を 800mm とした場合を示している。また、図-3 はそれぞれの降雨パターンに伴う崩壊形状を示している。図-2 より、Case1 では崩壊が発生せず、Case2 では Type1、2 とともに崩壊が発生していることが分かる。また、図-3 より、Case2 の崩壊形状は Type による違いがなく、深層崩壊に近い形状であることが分かる。以上より、非常に弱い降雨であっても長時間降り続いた場合には、降雨ピークの位置に関わらず深層崩壊が発生することが分かる。

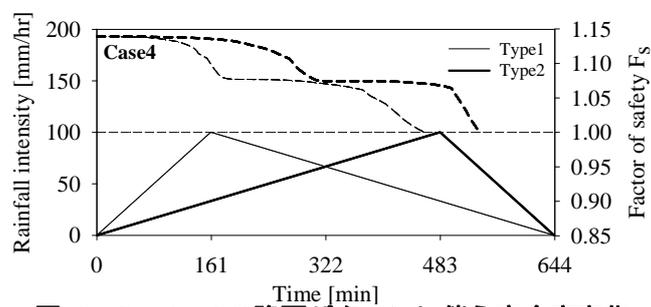
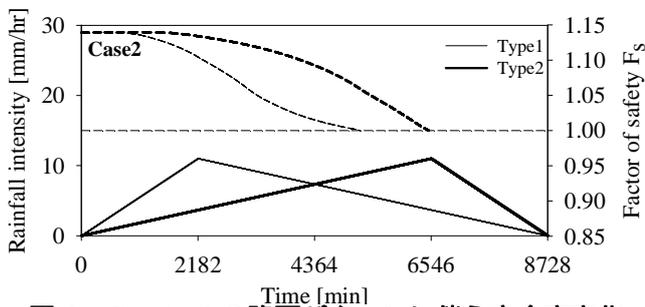
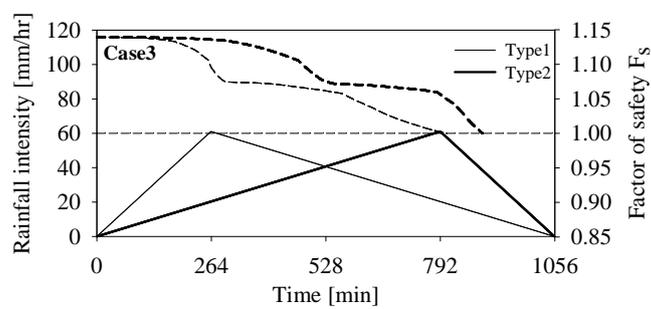
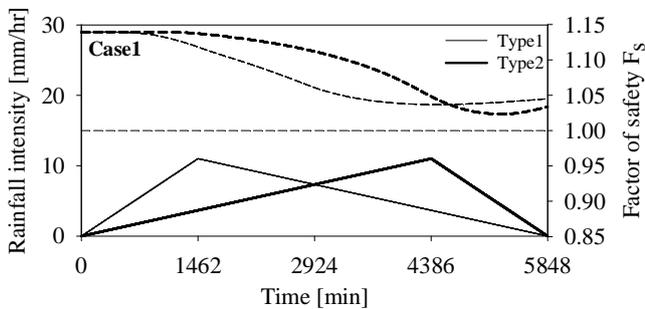


図-2 Case1、2の降雨パターンに伴う安全率変化

図-4 Case3、4の降雨パターンに伴う安全率変化

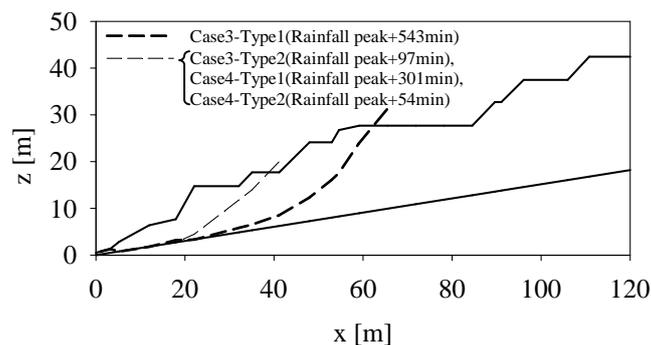
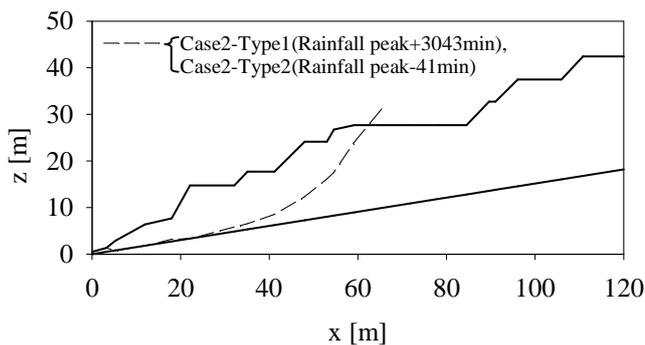


図-3 Case1、2の降雨パターンに伴う崩壊形状

図-5 Case3、4の降雨パターンに伴う崩壊形状

### 3.3.2 総降雨量一定で最大降雨強度を変化させた場合

図-4 はそれぞれ総降雨量一定で最大降雨強度を変化させた場合の降雨パターンと安全率の関係を示したものである。ここで、Case3 は総降雨量を 536mm、最大降雨強度を 61mm/hr とした場合、Case4 は総降雨量を 536mm、最大降雨強度を 100mm/hr とした場合を示している。また、図-5 はそれぞれの降雨パターンに伴う崩壊形状を示している。図-4 より、Case3、4 とともに崩壊が発生していることが分かる。また、図-5 より、Case3 の Type1 では深層崩壊に近い崩壊形状を示し、それ以外は表層崩壊に近い崩壊形状を示していることが分かる。ここで、崩壊発生時の降雨状況および斜面土層内の水分量に着目する。表-1、2 に Case3、4 における崩壊発生時の降雨状況および斜面土層内の水分量を示す。なお、斜面土層内の水分量は、斜面土層の体積に占める斜面土層内の水の体積の比率として表したものである。表-1、2 より、崩壊発生時の積算降雨量および斜面土層内の水分量は Case3、4 でほぼ同じ値となっていることが分かる。しかし、崩壊発生時の降雨強度は大きく異なり、深層崩壊に近い崩壊形状を示した Case3 の Type1 が最も小さい値となることが分かる。以上より、崩壊発生の有無は積算降雨量および斜面土層内の水分量に支配されると考えられる。また、崩壊形状は崩壊

表-1 Case3 における崩壊発生時の状況

	Type1	Type2
降雨強度 [mm/hr]	19.125	38.502
積算降雨量 [mm]	497.43	483.86
斜面土層内の水分量 [%]	59.402	59.365

表-2 Case4 における崩壊発生時の状況

	Type1	Type2
降雨強度 [mm/hr]	22.481	29.581
積算降雨量 [mm]	504.19	512.74
斜面土層内の水分量 [%]	59.396	59.413

発生時の降雨強度に支配されると考えられ、降雨強度が小さい場合には深層崩壊、大きい場合には表層崩壊が発生すると推測される。

## 4. おわりに

本研究では、わが国の降雨特性の変化傾向および降雨特性と斜面崩壊特性の関係性について、いくつかの重要な知見が得られた。今後は、さらに面的に降雨特性の変化傾向を把握し、斜面崩壊特性に関しても実測降雨との関係性を明らかにしていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 大塩清太郎・堤大三・藤田正治：降雨パターンの崩壊形態に及ぼす影響、平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集、pp. 444-445、2008.