

# 森林斜面の土砂災害を誘発する降雨波形に関する研究

徳島大学 学生会員 ○大西靖之 徳島大学大学院 正会員 田村隆雄  
 徳島大学大学院 正会員 武藤裕則

**1. はじめに：**我が国は、毎年台風や前線に起因した豪雨によって、山間部の斜面で崩壊や地すべり、土石流による土砂災害が発生している。これらに代表される災害を減らすためには、土砂災害と素因（地形、地質）や誘因（降雨、地震）との関係を明らかにする必要がある。しかし、誘因である降雨に着目した研究は少ないのが現状である。そこで、本研究では総雨量や降雨強度、降雨継続時間を様々に変えた仮想降雨を作成し、分布型流出モデルを用いたシミュレーションを行う。そして、推算された地中水貯留高の飽和度に着目して、土砂災害を誘発する危険性の高い降雨波形について考察する。

**2. 対象流域および解析手法：**解析対象流域は、和歌山県の二級河川・富田川の上流域、市ノ瀬流量観測所流域（流域面積 165.5km<sup>2</sup>）とする。この流域では、2011 年台風 12 号によって、複数の土砂災害が発生した。その中でも、大規模崩壊（1箇所）、表層崩壊（2箇所）、地すべり（1箇所）を本研究の対象とする。富田川流域と土砂災害発生箇所を図 1 に示す。流出解析は流域を複数の斜面（小流域）と河道区間に分割し、斜面部では地表面流分離直列二段タンクモデル（図 2）、河道部では修正 Muskingum-Cunge 法を用いた<sup>1)</sup>、分布型流出モデルを採用する。分割した斜面をこれ以降「サブ流域」と呼ぶ。

**3. 考察方法：**2011 年台風 12 号時に土砂災害が発生したサブ流域に加え、「わかやま土砂災害マップ」<sup>2)</sup>の危険箇所を含むサブ流域の土砂災害を誘発する降雨波形を考察するために、各サブ流域に占める土砂災害危険箇所の面積割合を算出した。その中で、急傾斜地の崩壊危険サブ流域 1 箇所、地すべり危険サブ流域 2 箇所を考察の対象とする。シミュレーション降雨は表 1 のような降雨継続時間と総雨量が異なる降雨イベントを計 10 個想定し、各降雨イベントにつき図 3 に示すような 7 波形を作成した（全 70 パターン）。また、各サブ流域の地中水最大貯留高は図 2 において着色している量であり、解析期間中の最大貯留高から解析開始時の貯留高を差し引いた値である。すなわち、以下の式で定義される。

$$S_{max} = \gamma D / 2 + (1 - C_f) h_1 + (S_{Gmax} - S_{Gini}) \quad (1)$$

ここで、 $\gamma D / 2$ ：早い中間最大貯留高、 $(1 - C_f) h_1$ ：遅い中間最大貯留高、 $S_{Gmax} - S_{Gini}$ ：地下水最大貯留高とする。

**4. 土砂災害を誘発する降雨波形の定義：**2011 年台風 12 号時の流出解析を行い、土砂災害発生サブ流域や土砂災害危険サブ流域の時間雨量ピーク時におけるタンクモデルの各貯留高成分の飽和度を推算した結果、どのサブ流域においても飽和度は 95%以上となっていた。



図 1 富田川流域と土砂災害発生箇所

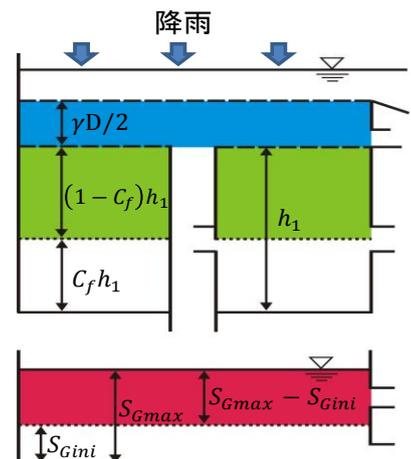
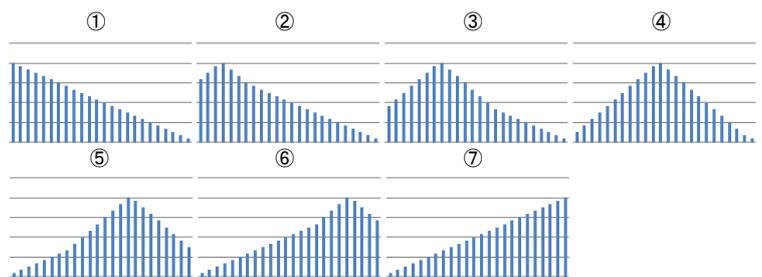


図 2 地表面流分離直列二段タンクモデル

表 1 シミュレーションを行う降雨イベント

降雨継続時間	24時間			48時間			72時間			
総雨量(mm)	200	300	400	200	400	600	600	800	1000	1200



①, ②: 前方向集中型 ③, ④, ⑤: 中央集中型 ⑥, ⑦: 後方向集中型

図 3 シミュレーションを行う降雨波形

よって、本研究における表層崩壊や地すべりを誘発する降雨波形の定義を「時間雨量ピーク時の各貯留高成分が全て 95%以上となっている降雨波形」とする。更に、表層崩壊や地すべりを誘発する降雨波形の中で、時間雨量ピークが発生するのが最も早い降雨波形をその降雨イベントにおける最も危険な降雨波形とする。次に、2011年台風12号時の深層崩壊発生サブ流域では、時間雨量ピークまでに飽和状態が35時間継続しているとモデルから推察されることから、深層崩壊を誘発する降雨波形は表層崩壊や地すべりとは別に定義し、「時間雨量ピークまでに地中水貯留高の飽和状態が30時間以上継続しているような降雨波形」とする。

**5. 地すべり発生箇所と地すべり危険箇所：**図4に地すべり発生サブ流域と地すべり危険サブ流域の危険な降雨波形を示す。どの降雨イベントにおいても、地すべり危険サブ流域では地すべり発生サブ流域より、時間雨量ピークが前方で発生する降雨波形が危険だといえる。次に、図5に地すべり発生サブ流域と地すべり危険サブ流域の地中水貯留高が飽和に達するまでの累積雨量と降雨継続時間との関係（降雨継続時間72時間の時）を示す。地すべり発生サブ流域では降雨継続時間28時間で飽和するのに対し、地すべり危険サブ流域では降雨継続時間5時間で飽和する。また、飽和するまでの累積雨量の平均は地すべり危険サブ流域は地すべり発生サブ流域の6分の1程度である。これらの結果から、地すべり危険サブ流域は地すべり発生サブ流域と比べ飽和容量が小さく、2011年の豪雨ではいつ地すべりが発生してもおかしくない状況にあったと考えられる。

**6. 深層崩壊を誘発する降雨波形：**シミュレーション降雨のうち、深層崩壊を誘発すると考えられる降雨波形は15パターンあった。それらの時間雨量ピークまでの累積雨量と地中水貯留高の飽和継続時間との関係を図6に示す。この図から、時間雨量ピークまでの累積雨量が大きくなるほど、飽和継続時間が長くなることが分かる。また、15パターンのうち、11パターンが後方集中型であった。この結果から、時間雨量ピークが後方で発生する降雨波形ほど飽和継続時間が長くなり、深層崩壊発生の危険性が高まると考えられる。

**7. まとめ：**サブ流域によって、土砂災害を誘発する最も危険な降雨波形は異なることが分かった。また、地中水貯留高が飽和するまでの降雨継続時間は累積雨量に関わらずサブ流域ごとに一定を示した。このことより、降雨開始から地中水貯留高が飽和するまでの時間は土砂災害発生の危険性が高まるまでの猶予時間の指標になり得ると考えられる。

**参考文献：**1) 森林流域における遮断蒸発・蒸散量と流域地中水保水量の分離・評価法，端野道夫，田村隆雄，田淵昌之，富士川洋一，土木学会水工学委員会 水工学論文集，第48巻（1），pp.31-36，2004  
2) 和歌山県 HP，わかやま土砂災害マップ URL；<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080600/top.html>

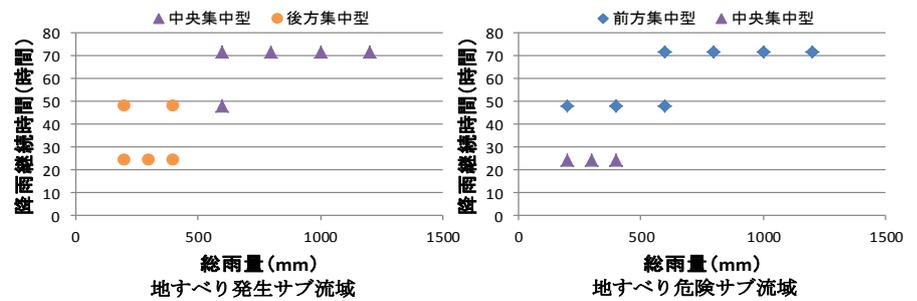


図4 各降雨イベントの最も危険な降雨波形

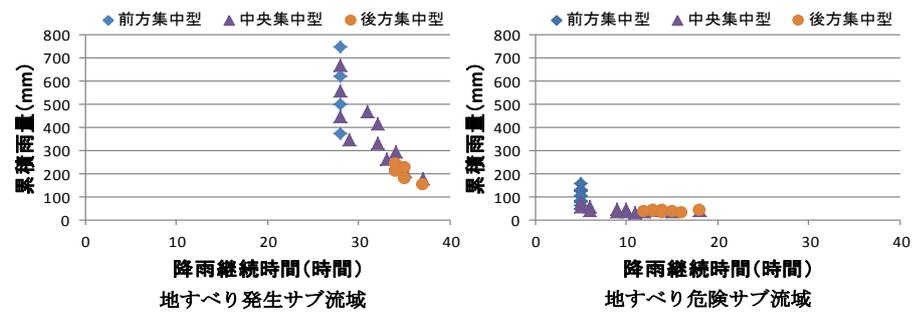


図5 地中水貯留高が飽和するまでの累積雨量と降雨継続時間

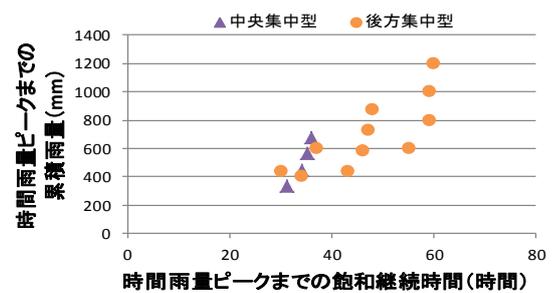


図6 時間雨量ピークまでの累積雨量と地中水貯留高の飽和継続時間