

林地斜面における不飽和浸透過程の現地計測と数値解析

愛媛県庁 ○土居邦章

広島大学大学院工学研究科 河原能久

広島大学大学院工学研究科 北 真人

1. 背景と目的

近年、台風や集中豪雨の影響で土砂災害が頻繁に発生しており、土砂災害を予測することは重要な課題となっている。しかし、土壌雨量指数を用いた土砂災害警戒情報¹⁾のようなソフト対策では、斜面ごとの樹木分布や土壌の風化具合などが考慮されておらず、高い確率で土砂災害を予測することは難しい。

そのことを踏まえ、本研究では、樹木が分布する現地斜面での雨水の浸透過程を明らかにすることを目的として、現地計測を行った。更に、現地での雨水が浸透する過程を再現し、より詳細なメカニズムを探るため、数値シミュレーションを行った。

2. 現地計測

広島市安佐北区可部町にある高松山を観測場所とした。観測範囲は2.1 ha、平均勾配は29°、地質は広島花崗岩類に属しており、林野庁の調査²⁾により、マサ化した花崗岩が分布していることが確認されている。2014年の広島土砂災害の際には、数か所で土石流が発生しており、崩壊箇所は、現在も基盤がむき出しの状態となっている。樹木分布は大きく分けて、2種類存在しており、ヒノキの針葉樹、コナラ、アラカシなどの広葉樹が分布している。

観測機器の設置場所を図-1に示す。設置器材は、林外雨に対して転倒ます型雨量計を1台設置した。樹冠通過雨は、広葉樹に対して、斜面上部と斜面下部に転倒ます型雨量計を各1台、針葉樹に対しても同様に斜面上部と斜面下部に各1台の転倒ます型雨量計を設置した。また、土壌水分計、テンシオメータを1地点に3深度(30 cm, 60 cm, 90 cm)設置した。計測間隔は雨量計、土壌水分計とテンシオメータそれぞれ1分、30分で行った。観測期間は、2016年9月25日から開始して、2016年12月2日まで行った。

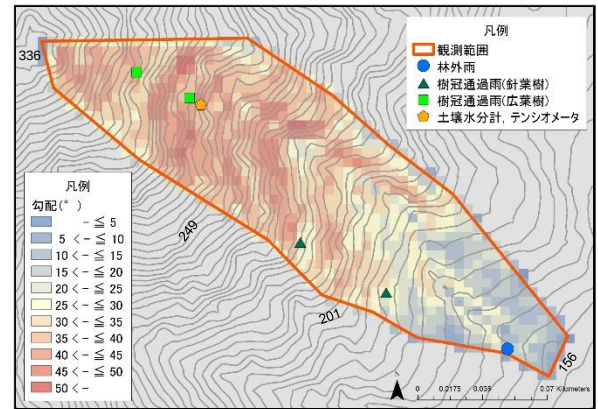


図-1 観測機器とその設置位置

3. 数値解析

雨水が浸透する過程を再現するため、数値シミュレーションを行った。基礎方程式として、1次元のRichards式を使用した。Richards式は、地下水流動で使用するDarcyの法則を不飽和中の土壌に拡張させた式-1と連続の式(式-2)を組み合わせた式である。鉛直方向下向きを正としている。なお、本研究では、離散化手法として差分法を用いた。また、体積含水率と水分フラックスに対してはスタガード格子を用いている。

$$q_z = -K(\phi) \left(\frac{\partial \phi}{\partial z} - 1 \right) \quad \text{式-1}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q_z}{\partial z} \quad \text{式-2}$$

今回の観測では、先に述べた以外に、水位計をGL-160cmに設置していた。しかし、観測した降雨イベントでは、土壌内に飽和地下水面を観測することがなかったため、今回の計算領域を地表面からGL-160cmとし、不飽和領域のみとしている。

初期条件は、降雨イベント30分前の実測した体積含水率を使用した。また、上端の境界条件は、林外雨量と樹冠通過雨量を入力値とし、下端の境界条件は、

キーワード 高松山, Richards 式, 体積含水率, 林外雨量, 樹冠通過雨量

連絡先 〒739-8527 広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 水工学研究室

TEL : 082-424-7819・7821

初期の体積含水率が一定とした。

4. 結果と考察

今回の計測では、いくつかの降雨イベントを観測することができた。そのため、数値シミュレーションを行うにあたり、2つの降雨イベントに絞った。表-1に累積雨量と降雨イベント内の最大降雨強度をまとめた。なお、観測した中で、一番累積雨量が大きかったものをEvent1とし、小雨のもので、かつ体積含水率の応答が確認できるものをEvent2としている。なお、Event2の林外雨量はメモリー容量の関係上、欠測している。

表-1 降雨イベントの概要

	林外雨		樹冠通過雨	
	累積雨量 (mm)	降雨強度 (mm/h)	累積雨量 (mm)	降雨強度 (mm/h)
Event1	74.5	60.0	60.4	60.0
Event2	-	-	18.8	12.0

図-2にEvent1の観測結果と解析結果を示す。降雨に対して、体積含水率もそれに伴い、上昇している。GL-30cmとGL-60cmにそこまでの差がないことから、GL-60cm付近まで急激に雨水が浸透したことが考えられる。数値シミュレーションをしたもので、GL-30cmの体積含水率は、林外雨量を入力値とした場合と樹冠通過雨量を入力値とした場合も実測値の傾向を捉えている。しかし、土壌が深くなるにつれ、解析値と実測値で外れ、GL-60cmとGL-90cmにおいては、数時間のずれが生じている。これは、林外雨量と樹冠通過雨量のどちらを扱った場合でも現れており、地表面での降雨遮断の影響よりも土壌内の不均一性による影響の方が強く表れていると考えられる。

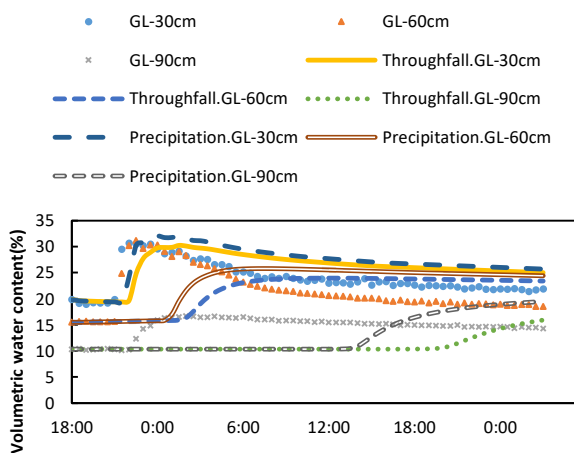


図-2 Event1の実測値と解析値

不均一性の要因として、今回の現地観測では、多くの樹木根系を確認しており、全く影響を与えていないとは考えにくい。しかし、Event1は累積雨量74.5mmであるため、樹木根系の影響以外に、側方から流れるパイプ流の発生により、GL-60cmが急激に増加したとも考えられる。そこで、降雨量が少なく、パイプ流が卓越していない事例として、Event2の解析結果をみていく。

図-3にEvent2の観測結果と解析結果を示す。この降雨イベントに対しても、体積含水率の上昇を確認することができるが、GL-30cmとGL-60cmで上昇において遅れが生じており、Event1と比べ、応答が異なる。更に、Event1の解析値はGL-30cmの傾向を捉えていたが、Event2の解析値では大きな水分量の差が生じている。原因として、樹冠通過雨が樹木根系を選択的に伝ったことにより、センサー付近に給水されたためであると考えられる。ただし、今回の数値シミュレーションでは、樹幹流を考慮していないこともあり、梁ら³⁾が指摘した樹幹流を起因とする雨水の鉛直浸透による影響も少なからず考えられる。そのため、今後の調査で樹幹流を含めたより詳細な現地データ取得が求められる。

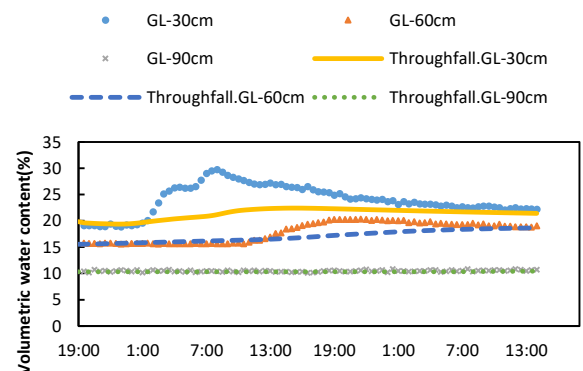


図-3 Event2の実測値と解析値

参考文献

- 岡田憲治：土壌雨量指数と土砂災害警戒情報，技術手帳，地盤工学会誌，62(3)，66-67，2014。
- 近畿中国森林管理局：8月19日からの大雨による広島市における山地災害検討委員会，http://www.rinya.maff.go.jp/kinki/tisan/hirosima_sai gai/pdf/20141120_siryou-2-2.pdf。
- 梁偉立，小杉賢一郎，水山高久：樹幹流に起因する飽和帯の形成が斜面安定に与える影響，砂防学会誌，63(1)，22-30，2010。