

樹木の存在が基岩面飽和帯の形成に与える影響

—三次元浸透モデルによる検証—

京都大学農学研究科 ○梁 偉立, 小杉 賢一朗, 水山 高久

1. 研究背景と目的

森林斜面における降雨は、一部が樹冠や林床植生に遮断され、それ以外が樹幹流と林内雨に分離されるため、地表面に到達する水の分布は均一ではない。Liang et al. (2007) は、降雨インプット偏在が斜面水文過程に大いに影響を与え、特に山地斜面に生育する樹木の下流側に集中する樹幹流が土層内飽和帯の形成に寄与することを明らかにした。土層内飽和帯の形成は、表層崩壊発生の予測において極めて重要な要素である。既往研究で開発された水文モデルの多くは、樹幹流による雨水の集中を無視しており、それらを用いた表層崩壊発生の予測には、大きな誤差が含まれる可能性が高い。本研究は、詳細な現地観測により、樹木の存在が土層内飽和帯の形成に与える影響を解明し、樹幹流を考慮した三次元浸透モデルを開発することを目的とした。

2. 観測項目・モデル説明

観測は京都市北区上賀茂本山に位置する京都大学上賀茂試験地における山地斜面で行った。この斜面は、褐色森林土壌とその下部の砂岩層、粘板岩層からなり、1956年に植えられたヒメシヤラが主な植生になっている。ヒメシヤラは落葉樹で滑らかかつ剥離的な幹を有し、日本の西部と南部を中心とした天然林に広く分布する。勾配約28度の斜面で樹高17.47 m、胸高直径22.3 cmのヒメシヤラ一個体を中心とする4.5 mの測線を設定し、根元から上流側への距離250 cm (P1), 200 cm (P2), 150 cm (P3), 100 cm (P4), 50 cm (P5)と下流側への距離25 cm (P6), 50 cm (P7), 100 cm (P8), 150 cm (P9), 200 cm (P10)の位置においてキャパシタンスメータ (Sentek 社製, EasyAG) を設置し土壌水分を観測した。さらに、キャパシタンスメータと同じ位置にテンシオメータを埋設し、基岩面直上の間隙水圧を観測した。降雨インプットを把握するために、立地条件が類似するヒメシヤラを一個体選択し、樹幹流と林内雨を計測した。斜面に生育した樹木は下流側に多くの枝を伸ばすので、樹幹流が樹木の根元に均質に供給されるとは限らない。そこで、樹幹流を幹の上流部と下流部に分離して計測した。また、根元から上流側への距離200 cm, 100 cm, 50 cmと下流側への距離50 cm, 100 cm, 200 cmの位置において転倒升式雨量計を設置し、林内雨の空間分布を観測した。

数値シミュレーションは、有限要素法により三次元のRichards式の数値解を求めた。まず観測斜面の情報に基づき計算領域を設定した。その一部を図1に示す。境界条件については、地表面に林内雨を入力し、上流面に水の出入りが無い条件、下流面と底面に自由排水条件を設定した。また、現位置斜面における土壌体積含水率の高空間分解能計測を実施し、同時に計測した圧力水頭の鉛直分布を併用することで、土壌水分特性パラメータを特定した (梁ら, 2006)。これまでの観測結果より、降雨発生直後に図1中のP6における深度50 cmの土壌水分が、浅い深度より先行して急激に上昇する現象が確認され、樹幹流が根系を伝いバイ

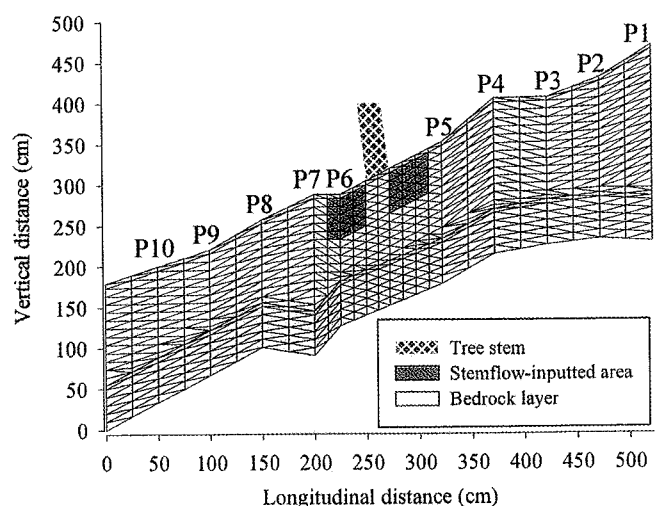


図1. 解析領域の要素構成と湧水領域

パス流となったことが推察された。このような現象は、通常の浸透理論から導かれる「浸潤前線の上層から下層への拡大」とは大きく異なるため、この計算では、樹幹流を土層内の湧水として図1に示した湧水領域に与えることにした (Model 1)。一方、これまで開発された多くの水文モデルでは、樹幹流による雨水の集中は無視され、正味林内雨量 (net precipitation) の一部として扱われてきた。そこで、正味林内雨量を均質に地面に与える従来型のモデル (Model 2) でも計算を行い、Model 1 と比較した。

3. 結果・考察

入力降雨には2007年7月12~14日の大規模降雨イベント時の観測値を用いた。このイベントでは、遮断量と林内雨量はそれぞれ林外雨量 (130.5 mm) の17, 44%であった。図2に基岩面間隙水圧の観測結果およびModel 1とModel 2による計算結果を示す。観測結果では、樹幹下流側における基岩面の間隙水圧が降雨強度により鋭敏に応答し、正圧になって飽和帯が発生することが多かった。特にP6では、降雨強度の小さい時期にも鋭敏な応答波形が見られ、飽和帯が頻繁に発生した。樹幹の下流側に大量に発生した樹幹流が迅速に土壤に浸透したため、基岩

面に局所的かつ一時的な飽和帯が生じたと考えられる。一方、樹幹上流側では、間隙水圧の応答が鈍く、正圧になることはほとんどなかった。この結果は、基岩面間隙水圧の上昇パターンが単に樹幹との距離だけではなく、樹幹の上流側と下流側において大きく異なることを示している。Model 1による計算結果は、観測された応答波形のピーク値やタイミングを概ね再現していた。特にP6では、計算値と観測値かなり良い一致を示した。つまり、樹幹流を湧水として扱ったModel 1は、降雨インプットの偏在に起因する非対称的な飽和帯の形成を良好に再現できたといえる。一方、Model 2による計算結果では、実測値と比べて、応答波形のピークのタイミングが上流側では早く、下流側では遅く計算され、再現精度が悪かった。平均的な浸透しか考慮していない従来の浸透モデルでは、土層内飽和帯の発生時刻・位置の予測に大きな誤差を与えることを指摘できる。

4. 参考文献

- Liang W.-L., Kosugi K., and Mizuyama T. (2007) Heterogeneous soil water dynamics around a tree growing on a steep hillslope. *Vadose Zone J.* 6:879-889.
- 梁偉立, 小杉賢一朗, 林祐妃, 水山高久 (2006) 雨水鉛直浸透に関わる土壌水分特性パラメータの特定手法に関する考察, 砂防学会誌, Vol.59, No.3, p. 3-12.

謝辞：この研究は「平成19年度砂防学会若手研究」より助成された。

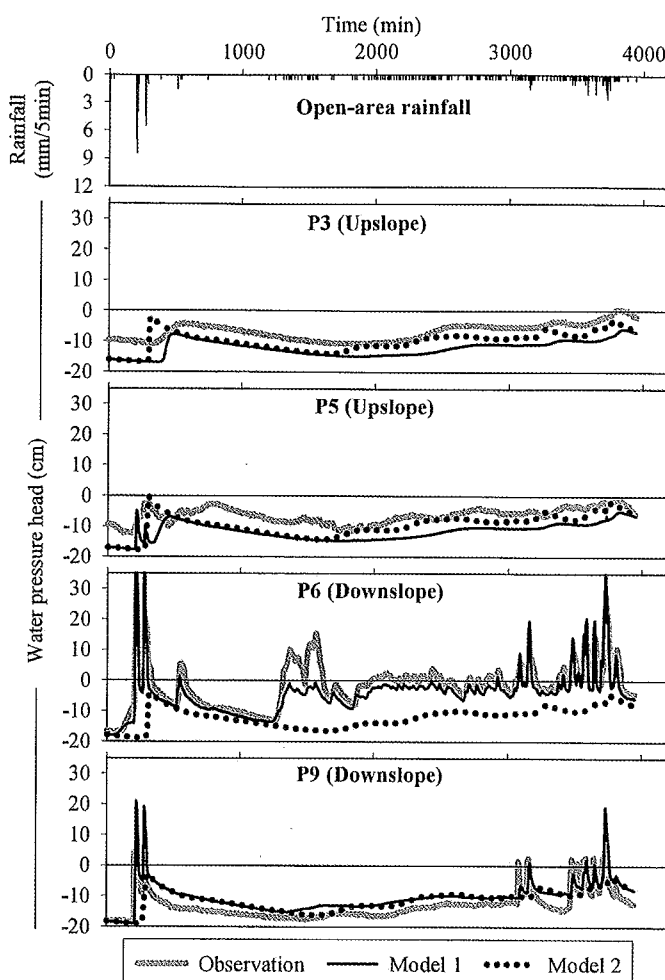


図2. ハイエトグラフおよび基岩面間隙水圧の観測値と計算値