

京都大学大学院農学研究科 ○宮田秀介・小杉賢一朗・水山高久  
 科学技術振興機構/京都大学防災研究所 五味高志

1 はじめに

近年森林流域において表面流出が発生することが下流河川の洪水流の増加につながると議論されている。ヒノキ林斜面において表層土壌の撥水性により表面流が発生することが明らかとなっているが (Miyata et al., in press), 表面流出が洪水流に寄与するためには、斜面における表面流の流下・浸透過程を明らかにしなくてはならない。本研究は、表面流出の洪水流出に対する寄与を評価するための基礎的な情報として、斜面での表面流の流下・浸透過程を明らかにし、モデル化することを目的とした。

2 方法

2.1 人工降雨実験

三重県大紀町のヒノキ林斜面において斜面長の異なる5つの実験区画(幅0.5m, 斜面長0.5~5m)を設定し、人工降雨実験を行った。実験区画と人工降雨の条件について表1に示す。人工降雨は電動噴霧器を用いて実験区画に均等に10分間散水され、実験区画の末端で表面流出量を30秒間隔で測定した。それぞれの区画に対して降雨強度が約12mm/5min, 4mm/5minの2条件で実験を行った。

表1 人工降雨実験の諸条件

Slope length (L) (m)	Slope gradient (degree)	Rainfall intensity (mm/5min)	
		Case 1	Case 2
0.5	35	10.8	4.4
1.0	39	12.0	3.9
2.0	43	12.1	4.2
3.0	42	11.7	4.2
5.0	39	11.8	4.2

2.2 染色実験

同試験地において染色実験を行った。濃度1.5g/lのBrilliant Blue FCF溶液を染色液として用いた。幅0.5m, 斜面長3mの実験区画に対し、4.2mm/5minの強度で10分間染色液を散布した。なお本実験は人工降雨実験のCase2と同時に行った。散布終了1時間20分後に実験区画の下流側から土壌断面を掘削し、斜面方向に0.25m間隔で土壌断面を観

察した。各土壌断面の写真から、各断面の深度5cmにおける浸透域の幅を求めた。

3 実験結果

3.1 人工降雨実験

降雨開始後8-10分に流出が定常したとみなし、各実験の定常状態での流出量を図1に示す。降雨強度が強いCase1では実験区画の斜面長が長くなるにつれて流出量が増加した。一方、降雨が比較的弱いCase2においては、斜面長2m以下については斜面長が長くなると流出量が増加したが、斜面長が2mより長い区画においても流出量は増加しなかった。

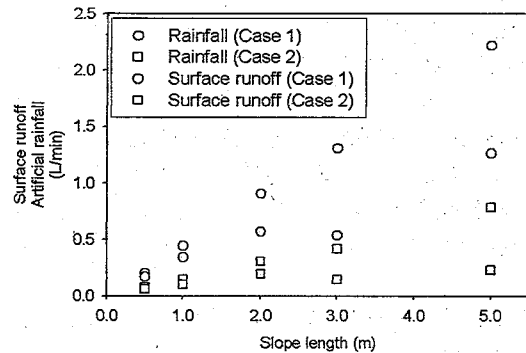


図1 人工降雨実験結果

3.2 染色実験

各土壌断面の深度5cmでの土壌の染色率を図3に示す。土壌への浸透は均一ではなく、選択的であり、それぞれの選択的な浸透経路は多くが幅2cmと小さかった(図4)。また、3mの実験区画の上流側1mではまったく浸透が起こっていなかった。これらの浸透の特徴は、小孔隙の毛管吸引圧が発揮されない撥水性土壌の影響によるものと考えられる。

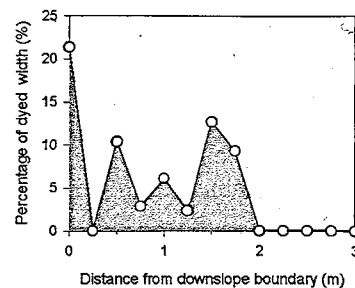


図3 染色実験結果

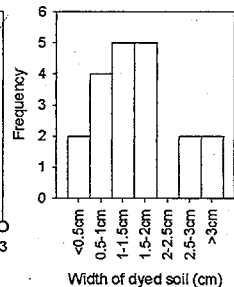


図4 染色幅の頻度分布

#### 4 表面流出・浸透モデルの概要

リチャーズ式を有限要素法により解いた2次元表面流出・浸透モデルを用いて人工降雨実験結果の再現を試みた。本モデルは表面流を厚さ1cmのリター層内の水移動として扱うため、表面流出と土壌内の浸透水の挙動を簡易に計算することができる。リター層の下流端からの流出量を表面流出量とした。土層深は実測値より60cmと設定した。土壌の物理特性は、実測された飽和透水係数と土壌水分特性曲線よりLN-Model (Kosugi, 1996)を用いて定めた。

前述の通り、人工降雨実験を行った試験地の土壌は撥水性を示す。土壌の撥水性は乾燥時に強く、土壌が湿るほど弱くなる。そのため、撥水性土壌への浸透速度は「降雨初期に小さく、降雨に伴って増加する」という非撥水性土壌とは反対の特性を示すことが知られている (Burch et al., 1989)。これを再現するために、土壌層の各要素に与えられる飽和透水係数が降雨前には小さく、それぞれの要素について圧力水頭がしきい値を超えると飽和透水係数が時間とともに実測された値まで上昇すると仮定した。

染色実験により示されたように、土壌層への浸透は均一ではなく選択的であった。これを再現するために土壌層に鉛直方向の「浸透スポット」を設けた。浸透スポットは染色実験結果 (図4)にもとづき、8%の割合で均等に分布させた。浸透スポットでは撥水性の働きが弱いと仮定し、各要素の飽和透水係数の上昇速度が大きいと定めた。

計算条件は表1と同様であり、降雨時間は10分間である。初期圧力水頭は試験地において行ったテンシオメータにより観測結果にもとづき、Case 1とCase 2においてそれぞれ-300、-50cmH<sub>2</sub>Oを与えた。

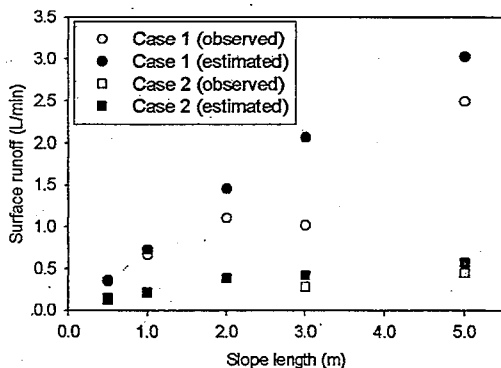


図5 人工降雨実験のシミュレーション結果

#### 5 シミュレーション結果と考察

計算値と実測値の比較を図5に示す。降雨強度が非常に強いCase 1では計算値がやや大きかったものの、斜面長が長くなるに従って流出量が大きくなる傾向をよく再現できた。降雨強度が比較的弱いCase 2では実測値をよく再現し、斜面長2m以上では流出量が増加しない傾向が一致した。

次に浸透の分布のシミュレーション結果について検討する。土壌層の初期飽和透水係数が小さいため、降雨初期はリター層の圧力水頭のみが上昇し表面流出が開始した。その後、土壌の圧力水頭増加に伴って浸透スポットの飽和透水係数(透水性)が急速に上昇し、浸透スポットへの浸透が見られた。一例として、染色実験を行った斜面長3mのプロットに関するCase 2の降雨終了時の圧力水頭分布を図6に示す。浸透スポットのみで浸透が起こり、斜面の上流側では浸透が起こらなかった実験結果を良好に再現することができた。

土壌撥水性の特性を取り入れることによって表面流出および土壌への浸透を簡易に再現することができた。より長い斜面における自然降雨条件下のシミュレーションが今後の課題である。

<引用文献> Burch et al. (1989) Hydrological Processes 3, 211-222. Kosugi (1996) Water Resources Research 32, 2697-2703. Miyata et al. (in press) Hydrological Processes.

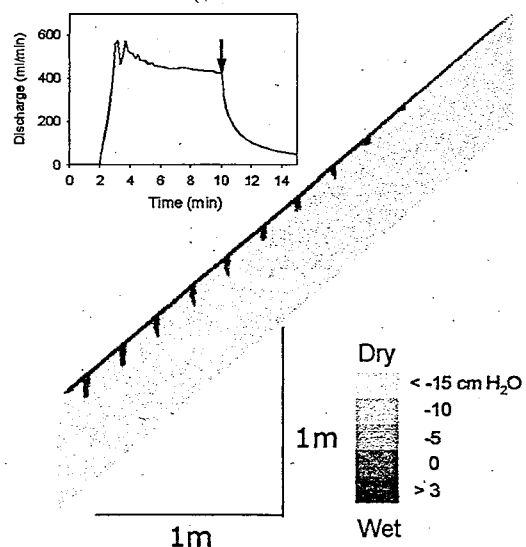


図6 斜面長3mプロットの降雨終了時(図中矢印)の圧力水頭分布のシミュレーション結果。降雨強度は4.2mm/5min