

実測した透水性分布を反映した降雨流出シミュレーション

京都大学大学院農学研究科 ○柳井鴻太郎 岩尾健司 正岡直也 小杉賢一朗

1. 研究の背景と目的

近年集中豪雨が頻発し、それに伴う災害も増加傾向にあることから、豪雨災害対策が課題となっている。流出形成や崩壊発生メカニズムを解明するために、斜面の水分動態に関する研究が数多く行われてきた。しかし土壌の透水性分布が降雨浸透に及ぼす影響について研究した例は少ない。特に、日本に多い急峻な山地斜面における研究例は乏しく、透水性分布を考慮した斜面水文過程の理解は進んでいない。

そこで本研究では、山地小流域全域にわたって透水性分布を計測し、実測の透水性分布を反映した浸透計算シミュレーションを行った。一律に透水性を与えた場合と結果の比較を行い、透水性分布が流出形成に及ぼす影響を解析した。

2. 研究の手法

2.1. 調査地の概要及び野外観測

調査は滋賀県甲賀市に位置する信楽水文試験地 B 流域 (SB 流域) で行った。SB 流域は流域面積 0.28 ha の堆積岩からなる山地小流域である。この流域内の 63 地点で貫入試験によって土層厚を計測した。そのうち不飽和帯の 55 箇所でゲルパーミアメータ法 (GP 法, Reynolds and Elrick, 1985) によって、恒常的飽和帯の 3 箇所でスラグ試験によって基岩面上の飽和透水係数 K_s を計測した (図 1)。また流域末端に三角堰を設置し、流出流量の観測を行った。SB 流域近傍で 0.5 mm 転倒ます型雨量計による雨量観測を行った。

2.2. 浸透計算シミュレーションの概要

浸透計算には有限要素法による雨水流動の数値計算モデル KEnIC-3D を使用した (藤本ら, 2011)。含水率、圧力水頭、 K_s の関係は Kosugi (1996; 1997) に従った。自動三次元有限要素ジェネレータ Gmsh を用いて流域を三角柱の集合に分割し、さらに三角柱を 7 層に分割した後、四面体要素に分割した。7 層のうち表層は厚さ 5 cm の層を 1 層、深層は厚さ 5 cm の層を 2 層とし、残りを 4 等分した 4 層を中層とした。ただし土層厚を 7 で割った値が 5 cm より小さい場合、各層の厚さは土層厚の 7 等分とした。土層厚は貫入試験による計測値をクリギングによって補間して与えた。

各層に与える土壌水分パラメータ (Kosugi (1996) における θ_s , θ_r , K_s 及び σ) を変化させて計算を行った。ケース A では全要素に一定のパラメータを与えた。値は堆積岩山地で採取されたコアサンプルにおける計測値 (未発表) の平均を用いた。ケース B では深層 10 cm の 2 層のみ実測の K_s をクリギングにより補間して与え、その他のパラメー

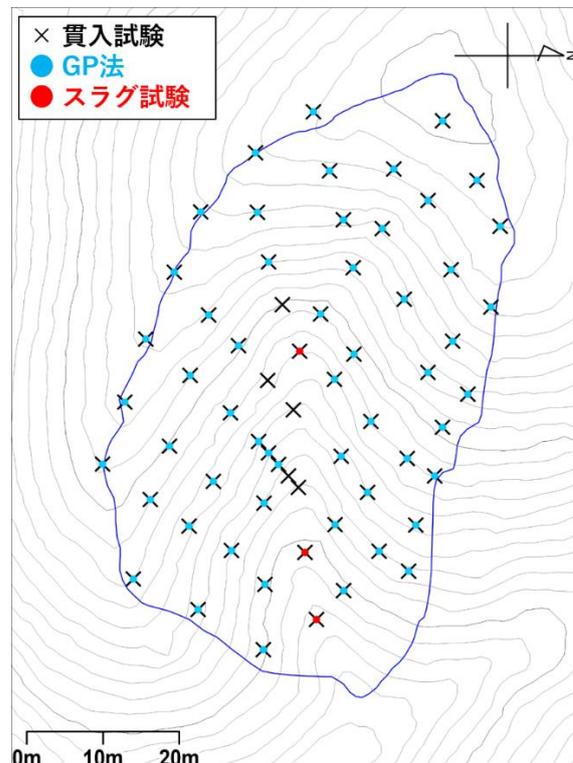


図 1 流域地図と計測の位置

タはケース 1 と同様に一定とした。

初期条件としてすべての節点に -30 cm の圧力水頭を与え、2022/7/1 からの観測雨量を降雨として与えた。なお本計算では透水性分布の影響に焦点を当て、基岩への浸透及び蒸発散はないものとした。また樹冠遮断も考慮せず計算を行った。

3. 結果と考察

図 2 に計算開始から 600 時間までの降雨波形と流出波形を示す。なおケース A は計算が完了している 300 時間ごろまでを示している。200 時間ごろから始まる 2 回目の大きな降雨で流出波形の再現が良くなっており、初期条件が適切に再現されたと考えられる。

200 時間ごろから始まった降雨に注目する (図 3)。シミュレーションでは観測の流出ピークよりも遅れてピークが現れた (図 3b)。ピークの遅れ時間はそれぞれケース A で 120 分、ケース B で 40 分であった。また、樹冠遮断、蒸発散及び基岩への浸透を考慮していない点に注意すべきだが、ピーク時の流量はそれぞれ観測値で 0.874 mm/10min、ケース A で 0.674 mm/10min、ケース B で 0.818 mm/10min であった。以上からケース B が流出ピークの流量及びタイミングの両方をより良く再現できていることがわかる。一方でシミュレーションでは両ケースとも流出の逡減が遅れが見られ、降雨後もある程度の流量が継続した。

これは逋減の再現には蒸発散や基岩浸透の考慮が必要である可能性を示唆している。

本研究のモデルでは、地表面要素が飽和した場合に供給された降雨は、表面流出として直ちに流出量に加算される処理を行った。そこで、表面流出と、流域下流端の要素を通過する流出量に注目する(図 3c, d)。表面流出・下流端流出のどちらもケースBにおいて波形の立ち上がり及びピークが早くなっており、結果として早い流出ピークが形成されていた。これは不均質な透水性分布を入力することで、土層内で側方流が生じやすい水の通り道になる領域が出現したためであると考えられる。この場合、下流端まで素早く水が輸送されることに加え、下流域で飽和帯の形成を促進し表面流出が生じやすくなると考えられる。

4. 今後の展望

実測の透水性分布を入力した数値計算によって、実現象に近い鋭い流出ピークの形成が再現できる可能性が示唆された。

今後、逋減の遅さ等の課題をクリアしつつ、透水性分布が降雨流出に及ぼす影響の解明を目指す。また、地下水面の再現や崩壊予測へと発展させていきたい。

参考文献

藤本ら (2011), 砂防学会誌, Vol. 64, No. 3, p. 3 - 10
 Kosugi K. (1996), *WRR*, Vol. 32, No. 9, p. 2697 - 2703
 Kosugi K. (1997), *Journal of Forest Research*, Vol. 2, p. 95 - 101
 Reynolds W. and Elrick D. (1985), *Soil Science*, Vol. 140, No. 4, p. 292 - 302

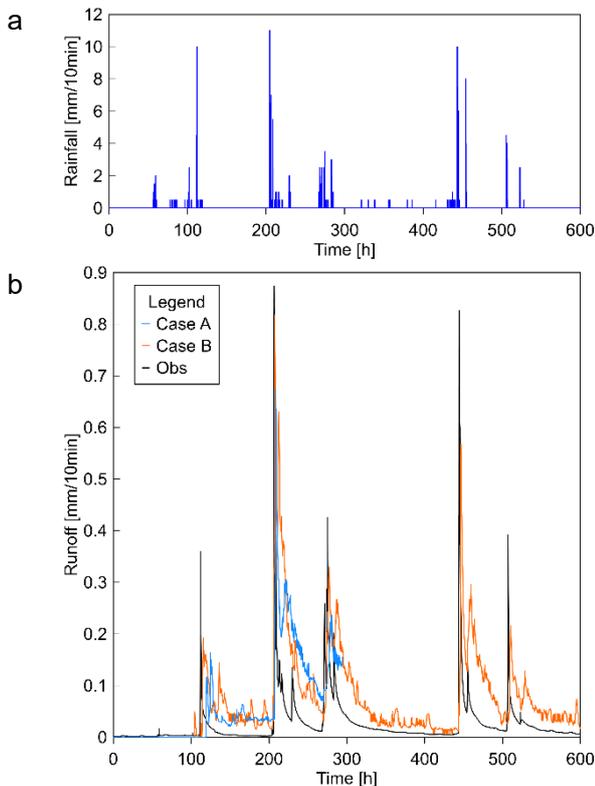


図 2 (a) 降雨, (b) 流出量 (~600 h)

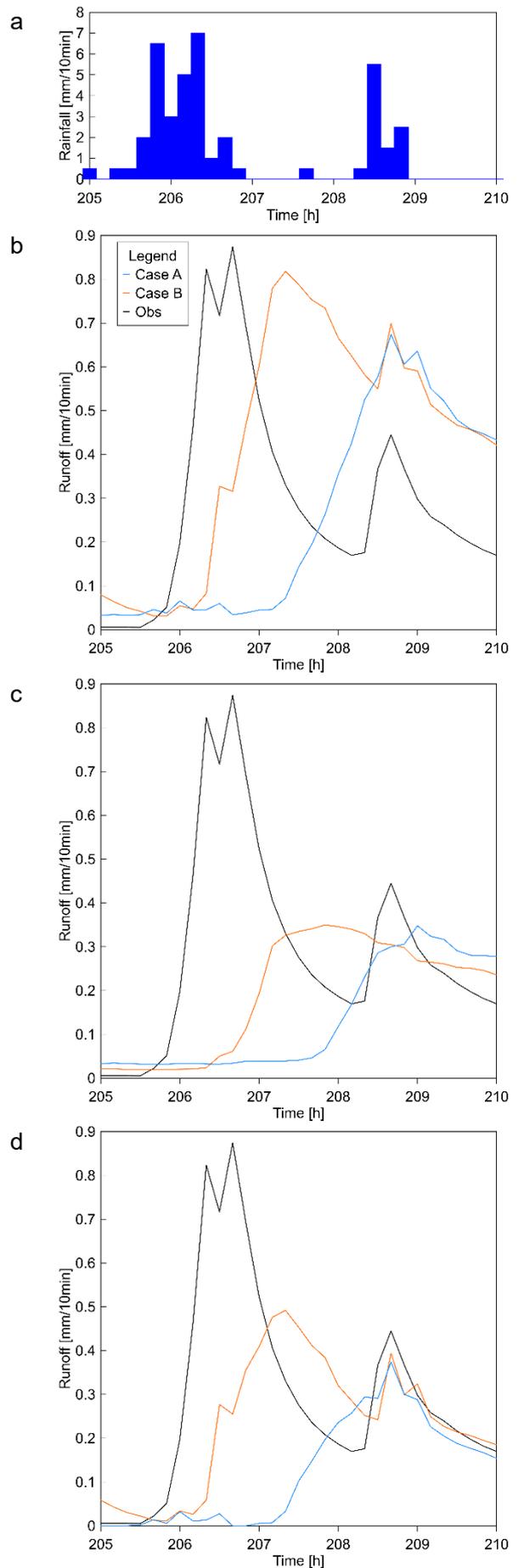


図 3 (a) 降雨, (b) 流出量, (c) 下流端流出量, (d) 表面流出量 (205~210 h)