

1. はじめに

森林が持つ洪水や崩壊・侵食を緩和する機能の定量的評価が社会的に求められている。これらの機能は、土層内に浸透した雨水の挙動を特徴付ける土壌構造が、森林生態系の影響により構造発達することによって発揮される。構造発達とは、母材の種類や土粒子の大きさ（粒度分布）に依存した一次的な孔隙構造に、森林の影響を受けて形成される二次的な孔隙構造が加わる変化のことである。従って、森林土壌の不攪乱サンプルを構造発達後の土壌、同じサンプルを締め固めて二次的な構造を取り除いて作成した攪乱サンプルを構造発達前の土壌と考えることができ¹⁾、両者の水分特性を比較することにより、雨水の挙動に関わる構造発達の影響を評価できる。また、土壌構造は森林斜面において植生・風化・地形などの要因が作用して発達するため、土層の深さや斜面位置によって発達過程が異なっている。従って、空間分布を考慮することも森林斜面における土壌構造の評価を行う上で重要な点である。以上の事を背景とし、本研究では、構造発達の空間分布が斜面水文過程へ与える影響を数値シミュレーションによって評価し、森林が持つ機能に関して構造発達の影響を解明する。

2. 方法

2.1 水分特性の測定

滋賀県南部の風化花崗岩を母材とする天然林斜面において、斜面下部から上部にかけて 5 地点にトレンチを設けて、不攪乱の土壌試料を採取した。深さ方向には、表層から基岩面が現れるまで数深度とし、各深度で 3 試料ずつ採取した。解析では、3 試料の平均値を用いた。不攪乱土を用いて pF 試験と飽和透水試験を行った後、同じ土壌から攪乱土を作成し同じ試験を繰り返し、水分特性曲線と飽和透水係数を求めた。攪乱土の作成は、不攪乱土から有機物を取り除き、乳鉢で団粒を破壊した後に、少し湿らせた土を三層に分けて締め固めて行った。水分特性曲線にはモデル関数²⁾を当てはめパラメータを算出した。

表-1 に攪乱土と不攪乱土のシミュレーションで用いた水分特性パラメータの平均値と、基岩のパラメータを示す。攪乱土と不攪乱土を比較すると、不攪乱土の方が飽和透水係数、 K_s が大きく透水性が高いこと、また、保水性を表すパラメータについては、水移動に関係する孔隙の総量、 θ_e のみで大きな違いがあり、圧力水頭に関わらず不攪乱土の方が、保水性が高いという特徴があった。さらに、基岩のパラメータは土層に比べ、 K_s と θ_e がかなり小さく、透水性と保水性ともかなり低い値であった。

2.2 数値シミュレーション

攪乱土と不攪乱土の水分特性曲線から求めたパラメータと飽和透水係数を用いて、雨水の二次元浸透シミュレーションを行った。数値計算は、有限要素法により二次元の Richards 式を解いて行った。計算領域はサンプル採取を行った実斜面の測定値を用いて図-1 の様に設定した。

境界条件は、斜面上端は水の出入りが無いが、地表面と斜面下端、基岩底面は、飽和すると自由排水が起きるものとした。入力降雨には、当試験流域で観測されたデータを用いた。降雨規模による違いを調べるために降雨のタイミングはそのまま各時間雨量を 0.5 倍、1.25 倍

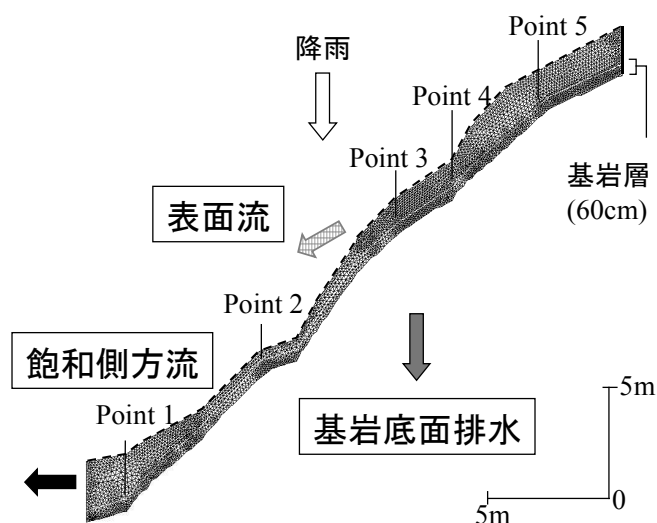


図-1.数値計算領域の模式図

表-1. 土層と基岩の水分特性パラメータ

	Ψ_m (cm)	σ	θ_e (cm ³ cm ⁻³)	K_s (cm s ⁻¹)
Disturbed soil	-54.3**	1.54*	0.163*	3.91×10^{-4} **
Undisturbed soil	-42.8**	1.58*	0.205*	1.14×10^{-3} **
Bedrock***	-66.6	1.14	0.043	4.00×10^{-5}

* Mean.

** Geometric mean.

*** from Katsura³⁾

にした場合についても計算を行った。

2.3 森林の機能の評価方法

森林が持つ洪水や崩壊・侵食を緩和する機能は、流量や土層内の間隙水圧によって評価されるが、これらの情報は、数値シミュレーションで算出することができる。以下に森林の機能とそれぞれの情報との関係を説明する。

斜面下端から排水される飽和側方流（図-1）や表面流（図-1）は直接河川に流入するので、これらの流量の増加は洪水流量の増加をもたらす。それに対して、基岩底面排水（図-1）は基岩に浸透し山体の深層地下水となつて、いずれ河川の基底流を涵養する。

また、表面流の増加は表面侵食を引き起こす。さらに土壌間隙水圧が高まると、表層崩壊の危険が大きくなることが知られている。

3. 結果

図-2 に流出成分の時系列変化を示す。降雨強度が 0.5 倍の場合、基岩底面排水のみが発生し、その波形は不攪乱土の方が緩やかであった（図-2a, b）。従つて、降雨が弱い時は、構造発達により深層地下水へより緩やかな波形で雨水が供給され、基底流が安定化されることが分かった。降雨強度が 1 倍に強くなると、飽和側方流が発生した（図-2c, d）。この飽和側方流は不攪乱土の方が、より早く降雨に反応しピーク流量が大きいため、構造発達の影響により洪水流量が増大する結果となった。しかし一方で、不攪乱土では飽和側方流により雨水が土層内から素早く排水されるので、斜面土層内の飽和領域や圧力水頭が小さくなり（図-3a, b）、構造発達によって斜面崩壊は起こりにくくなることが予想された。さらに降雨強度が 1.25 倍に強くなると、攪乱土のみで表面流が発生し（図-2e, f）、構造発達の影響により表面侵食が起こりにくくなることが分かった。また、この表面流により、土層内の雨水は排水されるものの、飽和領域は依然不攪乱土の方が広く（図-3c, d）、斜面崩壊の抑制にはつながらなかった。

引用文献

- 1) Hayashi, Y., K. Kosugi, and T. Mizuyama. 2006. Changes in pore size distribution and hydraulic properties of forest soil resulting from structural development. *Journal of Hydrology* 331:85-102.
- 2) Kosugi, K. 1996. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 32:2697-2703.
- 3) Katsura, S. 2008. Hydraulic properties of weathered granitic bedrock and their effects on hydrological processes headwater catchment. Doctoral thesis, Kyoto University.

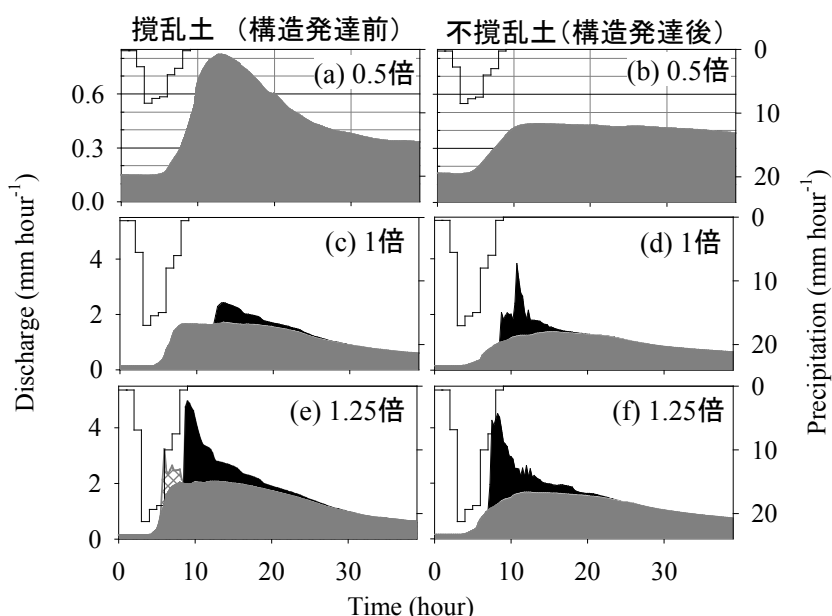


図-2. 入力降雨と各流出成分の時系列変化の計算結果（各成分の積み重ねで表示）。凡例は図-1 の矢印の色、パターンに対応。

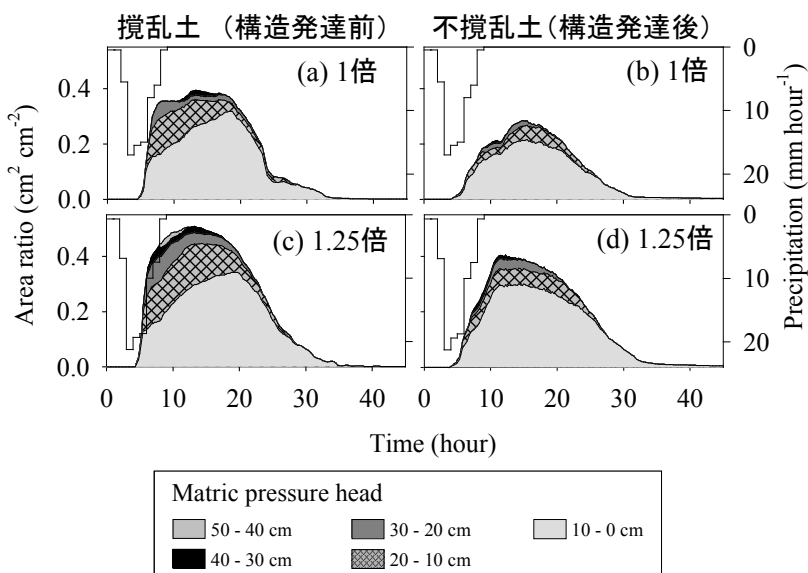


図-3. 入力降雨と土層内の飽和面積率の計算結果（各圧力水頭の積み重ねで表示）。