

1 はじめに

林地における森林土壌の存在が、水源涵養機能や洪水緩和機能に関して大きな役割を果たしているといわれているが、森林土壌の雨水貯留能力を定量化する手法は確立されていない。これまで雨水貯留能力を評価する試みとして、水分特性曲線に基づく土壌の孔隙解析が行われてきたが、土壌水の浸透理論と照らし合わせてみるといくつかの問題点を含んでいた。本研究では、浸透理論の特性を反映しつつも平易で理解しやすい雨水貯留量指標を提案し、その妥当性について検討を行う。

2 新たな貯留量指標

図-1aのように、長さ L の土層の下端に定常地下水面があり土層内の水分移動が無い状態から、一定強度 p の雨を継続してかけることを考える。土層下端からの流出量 q_{out} は、降雨開始直後はゼロであるが、その後徐々に増加してついには降雨強度と等しい p となり、その後降雨を停止しても直ちにゼロにはならず徐々に減少するであろう(図-1b)。しかし、仮に土層の貯水能力がゼロであったとしたら、 q_{out} の波形は図-1bの破線のように降雨波形と全く同じになるであろう。そこで、この増水過程もしくは減水過程における降雨波形と流出波形の差の時間積分値(図-1bの灰色部分の面積)を、土層の貯留量 S として定義することにする。 S の値は、降雨前における土層内の体積含水率 θ の鉛直分布(図-1aの実線； θ_s は飽和体積含水率)と、流出量が降雨強度に等しくなったときの θ の鉛直分布(図-1aの破線)に挟まれた部分の面積に等しい。ここで、降雨前の θ の分布は地下水面からの高さ z を圧力水頭 ψ の絶対値とした場合の水分特性曲線に対応しているのに対し、 $q_{out}=p$ となったときの含水率分布は土壌の保水性と透水性の両方の影響を受けて決まる。そして S は、水分容量が大きく不飽和透水係数が小さい土壌ほど大きくなるため、鉛直浸透過程を特徴づけると考えられている水分拡散係数の特性を反映した指標であるといえることができる。

3 団粒状構造(Crumb)およびカベ状(Massive)の森林土壌の浸透流出過程

団粒化の進んだ森林土壌と、団粒状構造の見られないカベ状の(未発達の)森林土壌について特定された保水性・透水性を与え、下端に地下水面を持つ長さ(L)が1もしくは1.5 mの土層からの降雨浸透流出量を、数値シミュレーションによって求めた結果が図-2である。土層表面には、実測された1ヶ月間の降雨(図-2a)を与えた。図-2bにおいて、団粒状土壌のハイドログラフは、カベ状土壌に比べて降雨時のピーク流出量が小さく、無降雨時の逓減流出量が大きくなっており、団粒状土壌の貯水能力がより大きいことを示唆している。孔隙解析から得られる従来の貯留量指標(毛管粗孔隙率と L の積)は、団粒状土壌の66 mmに対してカベ状土壌では111 mmであり、シミュレーション結果とは逆の傾向を示した。 $L=150$ cmとした場合、両土壌のハイドログラフとも $L=100$ cmの場合に比べて、ピーク流出量が小さく逓減流出量が大きくなった。(図-2c)。図-2bと同様に、毛管粗孔隙率の小さい団粒状土壌(従来の貯留量指標100 mm)についてより緩やかなハイドログラフが算定され、カベ状土壌(同166 mm)より大きな貯水能力が示唆された。

図-3は、様々な降雨強度 p に対して算定された団粒状およびカベ状土壌の貯留量 S を示したものである。同じ L について比べると、全ての降雨強度で団粒状土壌の S がカベ状土壌よりも大きくなっていることがわかる。また両土壌とも、 L が大きいほど S が大きくなっている。図-3に示された4つのケースの S の大小関係を図-2と比較すると、 S が大きい場合ほどハイドログラフが緩やかになっていることがわかる。このことから図-2の結果に関しては、 S がより適切な指標であるといえる。

さらに、様々な保水性・透水性を示す多くの土壌についても、 S による評価が有効であることが示された。これに対して孔隙解析から得られる従来の貯留量指標は、土壌の保水性しか反映していないため、表層土内の鉛直浸透過程の評価には必ずしも適さないと考えられた。

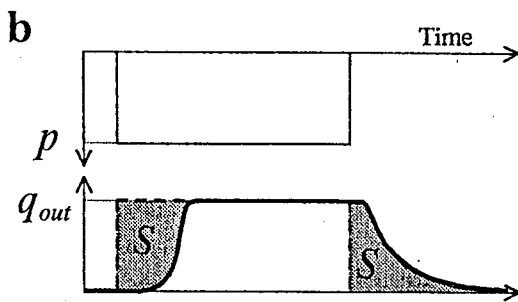
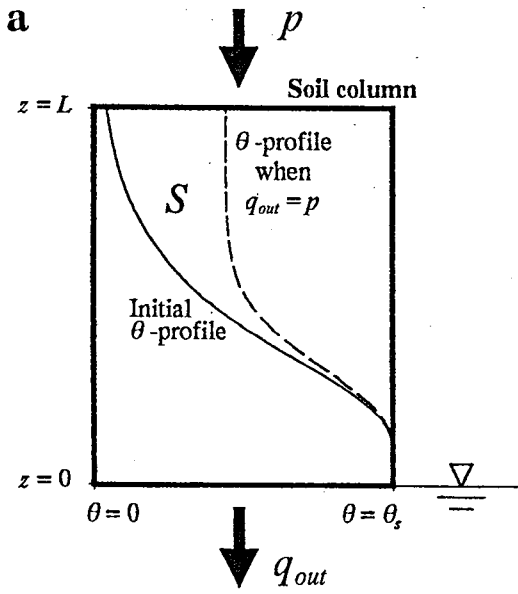


図-1 貯留量 S の定義

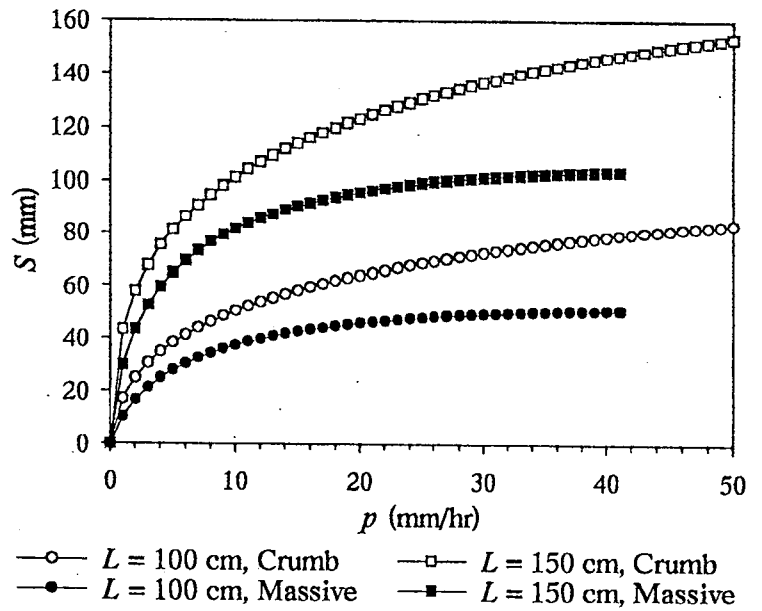


図-3 団粒状構造およびカベ状の森林土壌の貯留量 S

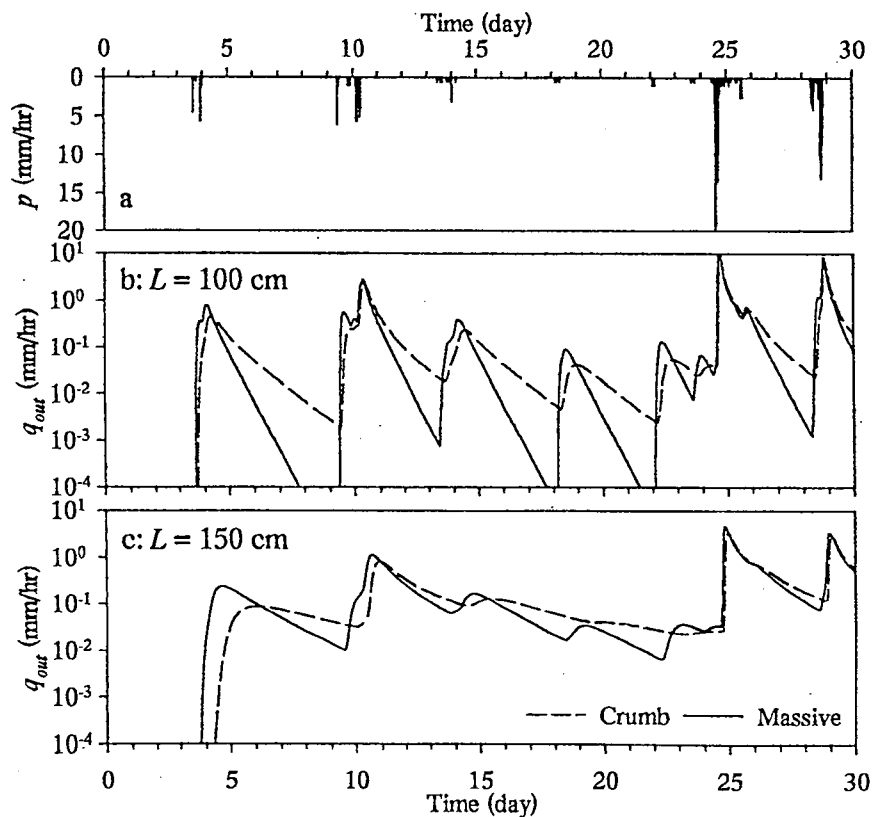


図-2 入力ハイトグラフと計算ハイドログラフ