

飽和・不飽和浸透流を基礎とした 斜面流出モデルの集中化に関する研究

名古屋大学工学部 正 員 松林宇一郎、高木 不折
名古屋大学大学院 学生員○古田 直

1. はじめに

山腹斜面は、降雨－流出現象において降雨量を流量に変換する場であり、きわめて重要な役割を果たしている。この斜面での流出過程の物理的解析には分布形のモデルによって行われているが、一方、実用的には集中形のモデルが都合のよいことも事実である。そこで著者らは斜面での過程を飽和・不飽和浸透流として解析し、その結果が貯留形の集中モデルとしてどの様に表現出来るかを検討してきた。本報告は、その第一段階として、斜面の各パラメータが流出にどのような影響を及ぼすのかを調べたものである。

2. 二次元飽和－不飽和浸透流の基礎式

図2に示すような傾斜した透水層内の飽和－不飽和浸透流の基礎方程式は次式のRichardsの式で表される。

$$C \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ K(\psi) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K(\psi) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right\} \quad \dots (1)$$

ここに x : 斜面方向の距離、 y : 斜面に垂直方向の距離

ϕ : 圧力水頭 $K(\phi)$: 透水係数

ϕ : 水理水頭で圧力水頭と位置水頭の和で示される

C : 比水分容量で、 $C = d\theta / d\phi$

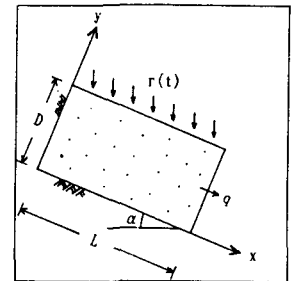


図2 斜面モデル

ところで、この方程式を解くためには、土壌物理条件として土壌水分量 θ 、圧力水頭 ϕ 、透水係数 K の相互関係がわかっていなければならない。ここでは、Ahuja & Swartzendruberの式 および 一般化Kozeny式を用いた。

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \frac{1}{1 + (a|\psi|)^n} + \theta_r \quad \dots (2) \quad K = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad \dots (3)$$

ここに θ_s : 飽和含水率、 θ_r : 気乾含水率、 K_s : 飽和透水係数、 a, n, β : パラメータ

なお、流量 q は次式より得られる。

$$q = -K(\psi) \text{grad} \phi \quad \dots (4)$$

3. 解析結果

流出に関与する特性には、土壌・地形・降雨等があるが、今回の解析では、犬山試験地（愛知県）を念頭に置きつつ一般的な林地での特性として一定値を与え、主に地形特性について考えることにした。すなわち斜面長(L)、土層厚(D)、および勾配(I)が流出特性にどのような影響を及ぼすのかについて調べた。

(1) ハイドログラフ

図3-1～3-3は同一の降雨条件下でのハイドログラフを、単位幅当りの流量として示したものである。まず図3-1は斜面長のみを変化させた場合である。立ち上がり部への寄与は下流端から順に上流に移動するから斜面長の違いによる差は少ない。一方、ピークと低減部では当然ながら斜面長の長いもののほど流出量が多くなっている。しかしながら、 $L=30\text{m}$ と 60m とを比較するとわかるように、斜面長が2倍になってもピーク流出量は約1.4倍にしかならない。このことから流出量は斜面全体よりもむしろ下流部の寄与が大きいことが示唆される。図3-2は土層厚のみを変化させた場合である。斜面長が同一であるため、低減部の特性は似ている。しかしピーク部では土層厚の薄いほうがピークが早く現れ値も大きい。これは土層厚の薄いものは斜面の底面部で飽和度が高くなりやすく透水係数が大きくなるからであると考えられる。図3-3は斜面勾配を変化させた場合である。これを見ると斜面勾配の小さな方がピーク流量は大きくなっており、直感とは逆の傾向となっている。これは次のように解釈できる。勾配の緩やかな斜面は初期状態での斜面内の水分量が多い

が、そのため(4)式で $K(\phi)$ が大きくなり、 $\text{grad}\phi$ に含まれる斜面勾配 I が小さいことによる影響に勝ったものと思われる。

(2) S - q 関係

図3-4～3-6は単位幅当りの斜面内の水分量 $S = \int \theta \, dV$ で表し、 q を下流端からの単位幅当りの流量としてそれらの関係を示したものである。図からこれらは概ね $S = k q^p$ と表されることがわかる。まず、 k については L 、 D を変化させると大きく変わり、しかもほぼ平行に移動することから、いわゆる S - Q 関係の S としてはここで計算した S そのものではなく $S = S_0 + S_0'$ または $S = C \cdot S_0'$ で表される S_0' を用いた方がよいのではないかと考えられる。実際、例えば S/L あるいは S/D の形でプロットすると図3-4、3-5はそれぞれほぼ重なることがわかった。一方 p はどのケースもほぼ等しくておよそ0.03であり、通常山地流域で言われる $p \approx 0.6$ と比べてかなり小さい。ただ、犬山流域での実測の p も0.09であり、斜面規模での現象では本計算例が特殊であるとは必ずしも言えない。

4. おわりに

以上、流域の地形特性を中心に流出量への影響を調べ、飽和度の重要性を指摘したが、この他にも土壌特性や降雨特性などの流出への寄与を明らかにし、それらのパラメータと S - Q 関係の関係を明らかにし流出モデルの構築を行いたいと思っている。

(参考文献)

- 1) 日野幹雄他：洪水の数値予報<その第一歩>，森北出版，PP. 73～74, 1989
- 2) 牧昌志：トレーサの拡散解析による山腹斜面の雨水流出解析に関する研究，名古屋大学卒業論文，1991

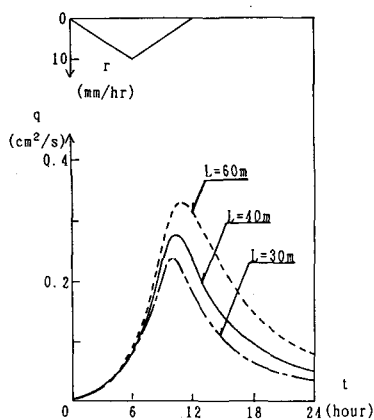


図3-1 斜面長を変化させた場合

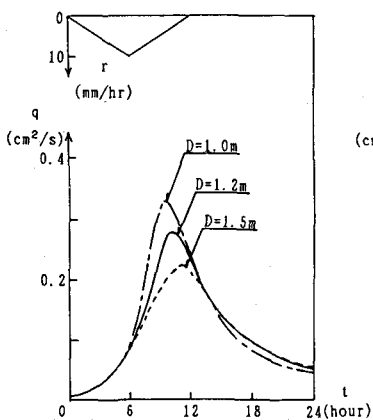


図3-2 土層厚を変化させた場合

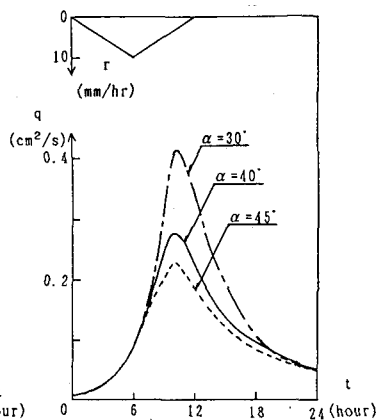


図3-3 斜面勾配を変化させた場合

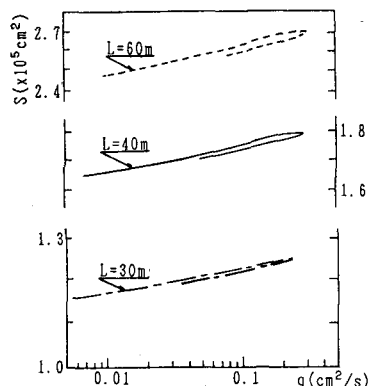


図3-4 斜面長を変化させた場合

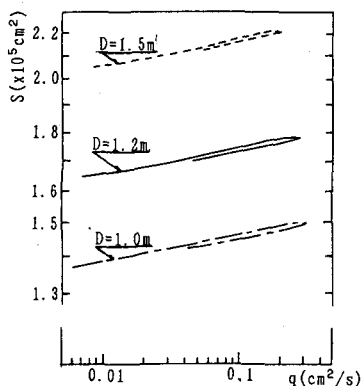


図3-5 土層厚を変化させた場合

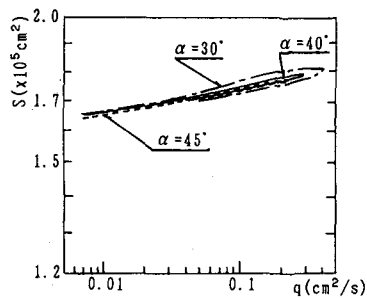


図3-6 斜面勾配を変化させた場合