

II-219

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

鴻池組

正員 古田 直

名古屋大学工学部

正員 松林宇一郎 高木不折

1. はじめに

流出解析法にはこれまで種々のものが用いられて来ている。その中で、集中パラメトリックモデルはその取り扱いの容易さから実務でよく用いられているが、一方でモデルの構造・パラメータの意味が不鮮明であるという欠点も有している。そこで、これまでに、斜面流出を対象にして Kinematic Wave法や飽和浸透流を基礎とした、貯留型モデルのS-Q関係の物理的解釈が行われてきている。本研究は、この構造を飽和・不飽和浸透流を基礎として改めて解釈しようとしたものである。

2. 斜面の諸特性

飽和・不飽和浸透流の解析は(1)式で示されるRichardsの式の数値解析を通じて行われるが、飽和浸透流とは異なり斜面の地形特性の他に土壌の特性として水分特性曲線($\theta-\phi$)、透水係数 $K(\theta)$ など自由度の多い特性が絡み合っており、一般化して扱うことは難しい。そこで、全体の枠組みとして、ここでは斜面形状としては図-1に示す均質な矩形斜面とし、土壌の特性は $\theta-\phi$ として Ahuja & Swartzendruber の式(2)を、 $K(\theta)$ として一般化Kozeny式(3)を用いることとした。そして、そこに含まれる諸パラメータの値は山腹斜面スケールの現象を扱っているということで犬山試験流域(愛知県:流域面積6400 m²)での値を基本として様々に変化させて数値解析し、流出特性・貯留関数の構造について検討した。

3. 2次元から0次元への集中化

実際の数値解析においては、図-1のA-B、B-Dは不透水境界、A-Cは降雨(中央集中三角形降雨)を与える境界、C-Dは内部との関係で浸出面($\phi=0$)または不透水面となる境界である。初期条件は、飽和状態から自然排水の予備計算を行なった結果で与えた。

以上の条件で数値解析した結果からS-Q関係を求めるに際し、まず図-1の斜面上に垂直な断面で積分した貯留水分量 $S_1(x)$ (4)式とフラックス $q(x)$ (5)式について、その関係(1次元への集中化)を各断面で検討した。その結果、両者には(6)式の関係が見いだされた。ここに、 f_1 は(5)式の積分を($\theta-\theta_r$)の平均値で置き換える際の補正係数である。図-2は斜面上流部と下流部での S_1-q 曲線の例であり、ほぼ同一の関係であることがわかる。次に、0次元への集中化を行うために S_1 の空間分布の経時変化を見たものが図-3である。これから流出の増加・減少ともほぼ相似的に変化しており、 $S_1(x)$ の斜面方向積分値Sと下流端流量 $Q(Q=q(L))$ は補正係数を導入して(6)式から(7)式の様に表現できる。 f は f_1 と $S_1(x)$ の分布に関する補正を考慮した係数である。

4. 結果の考察

図-4は求められたS-Q関係と連続式とから計算された流出ハイドログラフを2次元モデルの計算結果と比較したものであり、(4)式のS-Q関係を用いてはほぼ再現できることが分かる。

さて、本研究でえられた(4)式のS-Q関係の特徴としては次の点が挙げられる。まず、貯留量としては動きうる水の部分($\theta-\theta_r$)を対象とすべき事、また、斜面下流端近傍の貯留状態だけではなく上流部での貯留量も同様に考慮した方がよいことが分かった。

次に、S-Q関係の指数は $K(\theta)$ 関係の指数 β の逆数に一致する事が明かとなった。このことは指数が水分特性曲線の関数形には依存しないことを示唆している。さらに、この指数は約0.1という極めて小さな値となったが、犬山試験地での実測値による解析の結果も0.2程度となっており、小流域では起こりうる値であることが分かった。通常の大流域でのS-Q関係に対してはもう一つ別の構造が間に挟まっている可能性がある。

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

$K(\theta)$: 透水係数、 ϕ : 全水頭 $\phi = \phi + z$ 、
 ϕ : 圧力水頭、 z : 位置水頭、 C : 比水分容量

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{1 + (a|\psi|)^n} \cdots (2)$$

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 : 定数

$$K = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \cdots (3)$$

$$S_1 = \int_0^D (\theta - \theta_r) dy \cdots (4)$$

$$q(x) = K_s \sin \alpha \int_0^D \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta dy \cdots (5)$$

$$S_1(x) = \frac{f_1 D (\theta_s - \theta_r)}{(K_s D \sin \alpha)^{1/\beta}} q(x)^{1/\beta} \cdots (6)$$

$$S = \frac{f L D (\theta_s - \theta_r)}{(K_s D \sin \alpha)^{1/\beta}} Q^{1/\beta} \cdots (7)$$

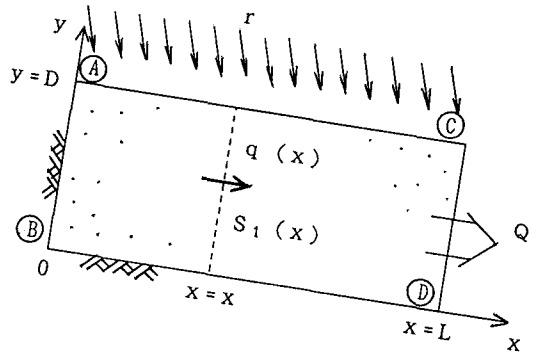


図-1 解析モデル

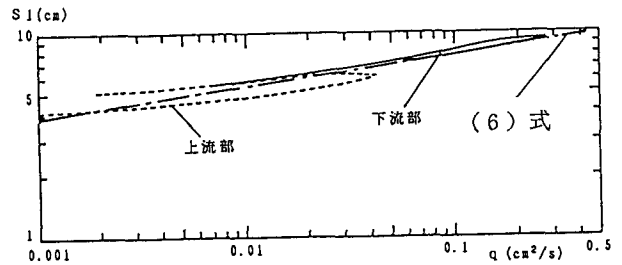
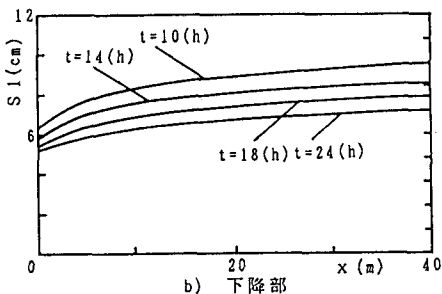
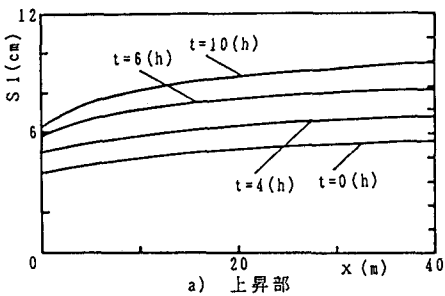
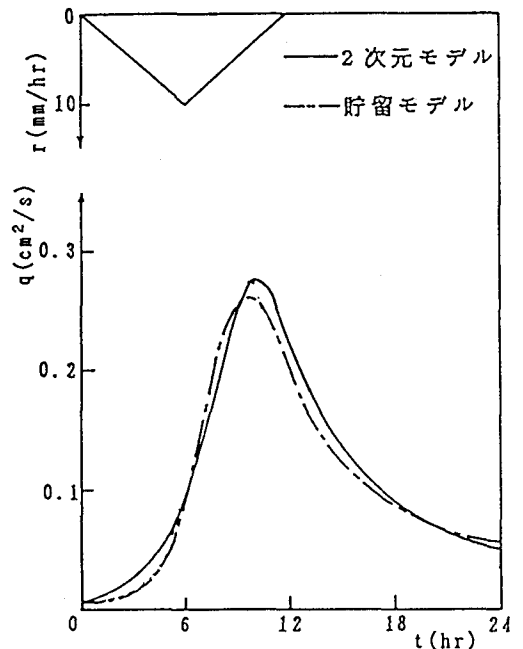

 図-2 斜面上部・下部の S_1 - q 関係

 図-3 断面貯留量 S_1 の空間分布


図-4 2次元モデルと貯留モデルの比較