

1. まえがき これまで図1に示すように、丘陵地斜面域の雨水流出過程を、土壌水分浸潤降下と亀裂流の両成分からなる地下水流出、中間流出及び表面流出の合成過程とする流出モデルについて検討を加えてきた。今回は流出モデル定数と蒸発量資料について吟味検討を行ったので適用例とともに述べる。

2. 流出モデルの構成式 地表面に到達した雨水は表層部の土壌水分量(θ)を考慮して、浸透成分とその他の成分に(1)式で分離される。

$$I = A_i [t + T(\theta_z)]^{-1/2} + B_i \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 I : 浸透能, A_i, B_i : 定数, t : 降雨開始後の時間, $T(\theta_z)$: 土湿条件を考慮するための修正時間。土壌水分の消長を考慮した雨水の浸潤降下については表層部、下層部の土壌水分量(θ_1, θ_2)を用い f_1, f_2 在(2)式で近似

し、連続式(3)を併用して解析を行う。

$$\left. \begin{aligned} f_0 &= -R \\ f_1 &= -\alpha_1 \exp(\beta_1 \cdot \theta_1) \\ f_2 &= -\alpha_2 \exp(\beta_2 \cdot \theta_2) \end{aligned} \right\} \text{---- (2)}$$
$$\partial \theta / \partial t = -\partial f / \partial z \quad \text{---- (3)}$$

ここで R は地表面よりの流量であり、 $R \geq 0$ のとき降雨強度または浸透能のいずれか小さい値、 $R < 0$ のとき蒸発強度。ただし、 θ_1 がある限界値(θ_{air})まで減少した場合にはそれ以後の蒸発は生じないものとする。上層からの浸透成分 f_1 と亀裂成分 f_2 が受けて河道方向へ流動する地下水流動の解析には(4)式もしくは(5)式を適用する。

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K_0}{\lambda_0} \frac{\partial}{\partial x} \left[(H - G(x)) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{f_1 + f_2}{\lambda_0} \quad \text{---- (4)}$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K_0 \cdot H_0}{\lambda_0} \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{f_1 + f_2}{\lambda_0} \quad \text{---- (5)}$$

ここで、 H : 基準面が S の地下水位, G : 不透層高, H_0 : weighted mean depth, K_0 : 透水係数, λ_0 : 有効間隙率。しかし、遅い地下水流出量(Q_{gd})を単純に(6)式により算出して差支えない。

$$Q_{gd} = f_2 \cdot A \quad \text{---- (6)}$$

A : 流域面積。直接流出については、中間流にDarcy則、表面流にManning則を適用し、kinematic waveとした取扱いにより解析する。

3. 流出モデル定数の推定 地形図が S 種々の地形量を測定した後、有効土壌層厚(z_e)を降雨終了後がなりの時間が経過した2時点(t_1, t_2)の斜面平均土壌水分量($\theta_{t_1}, \theta_{t_2}$)及び河川流量 $Q(t)$ 在(7)式により、また(2)式の α_1, α_2 推定する。(図2参照)

$$z_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt}{(\theta_{t_1} - \theta_{t_2}) \cdot A} \quad \text{---- (7)}$$

β_1 と $\theta_{t_1}, \theta_{t_2}$ 及び $\theta_{t_1}, \theta_{t_2}$ を用い推定する。(図2参照)
 α_1, β_1 は α_2, β_2 をゼロ近似として採用し、浸

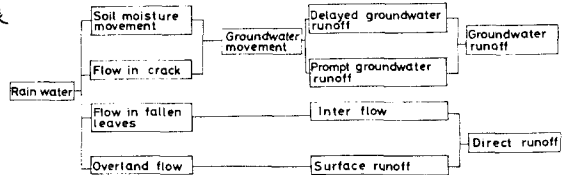


図1 流出モデル

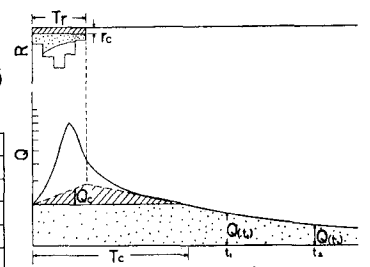


図2 記号の説明

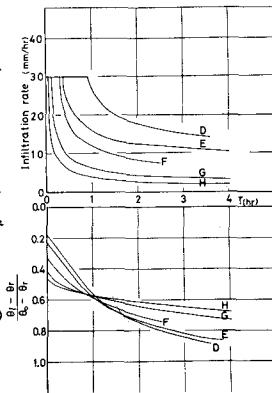


図3 浸透能・ $T(\theta_z)$ 曲線

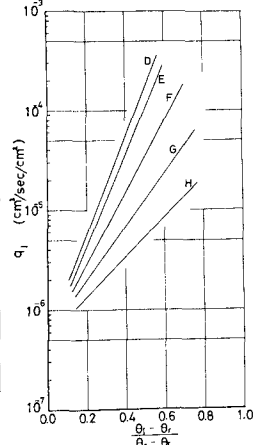


図4 $f_1(\theta_1)$ 曲線

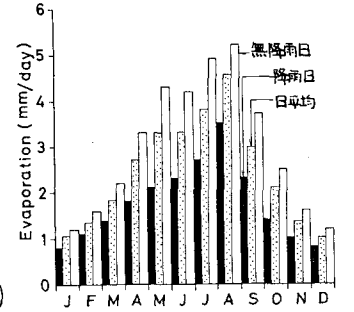


図5 蒸発量(京都気象台)

透能曲線式及び $T(\theta)$ 曲線は浸透能試験と行い推定する。この場合(1)式の B_i には亀裂流入成分(r_c)が含まれるのでこれを(8)式で

$$r_c = \frac{\int_{t_c}^t Q_c(t) dt}{T_r \cdot A} \dots (8)$$
推定し除く必要がある。なおこれらの現地試験の実施は容易でない、得られた値は流域代表値と示さない場合が多く、これらのモデル定数推定に関して残された問題は少ない。ここでは、とりあえず、特性の異なる5種類の土壌について、適当な降雨・蒸発条件の下に不能知浸透流の基礎式を数値的に解析し、その結果を再整理してモデル定数を求め、図表にまとめ試算に役立てることにした。毛管水分曲線及び不能知透水係数の表示式として(9)、(10)式を採用した場合の各係数を表1に示す。

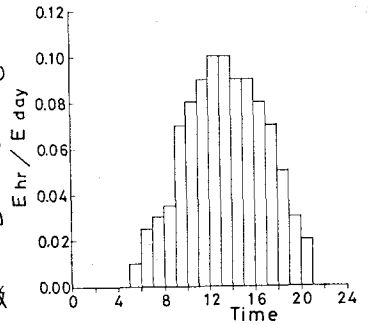


図6 蒸発量の時間配分率

ここで、 θ_r : residual soil moisture content, K_s : 飽和透水係数, θ_0 : 飽和土壌水分量, A, B, C, N : 定数。

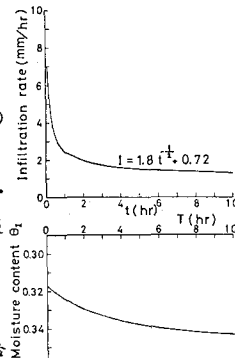


図7 浸透能曲線と $T(\theta)$ 曲線

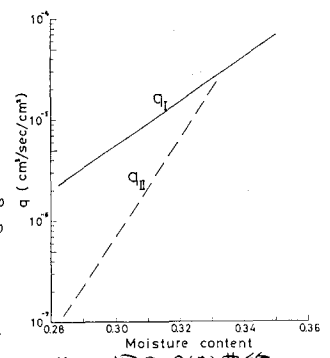


図8 $q(\theta)$ 曲線

浸透能曲線と $T(\theta)$ 曲線及び $q(\theta)$ 曲線を図3, 4に示す。亀裂流成分よりなる速い地下水流の係数曲線に(11)式をあてはめることにより(4)、(5)式の定数は求められる。

$$Q = 2H_0 K_0 h_0 / B \cdot \exp(-K_0 H_0 / \lambda \cdot \pi^2 / 4 B^2 \cdot t) \dots (11)$$

4. 蒸発量資料 それぞれの流域での蒸発量測定は容易でないが、1965年まで各地の気象台で日蒸発量が行われているので、これらと収集整理しこの流出解析に用いることができる。図5に京都気象台で観測された1951年がS15年間の資料を月別の日蒸発量、無降雨日蒸発量、降雨日蒸発量について示す。ここでは無降雨日の蒸発量を用い、図6の配分率で時間蒸発量を算出した。なお、降雨がある場合にはその時間内での蒸発量を0とした。図6は1975年8月の晴天日に宇治川水理実験所で測定した結果である。

5. 解析結果 上述の流出モデルを京都市西

部に所在する下狩川上流域(12.9ha)に適用する。地下水流出については全流域を一つのブロックに直接流出では4ブロックに分割して解析を行った。最終的に用いた浸透能曲線と $T(\theta)$ 曲線および $q(\theta)$ 曲線を図7, 8に示す。(5)式の $K_0 H_0 / \lambda$ は0.0096 m/sec、中流生起場の枯葉層の K 入は0.343 m/secである。(7)式による有効土壌層厚は2.75mであり、このうち表層土厚を25cmとした。なお流域の平均斜面長は58m、平均斜面勾配は0.4である。図9に1975年6月1日からS153日間の遅い地下水流出の計算結果を観測ハイドログラフとともに示す。図10には8月23日の降雨について、各成分を合成した結果を示してある。これらの計算結果はかなり良く実測ハイドログラフを再現しており、この流出モデルの有用性を実証しているといえる。

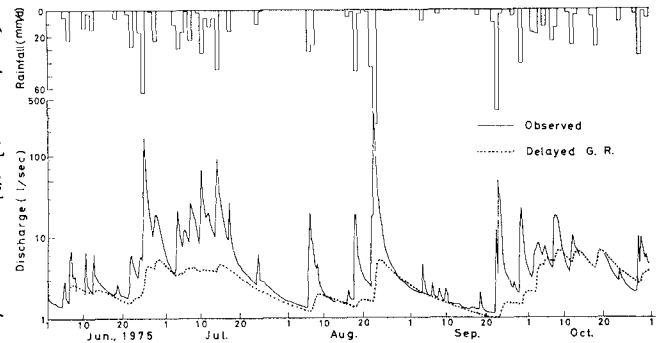


図9 計算結果(遅い地下水流出)と観測結果

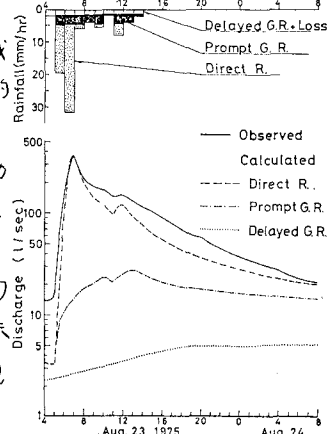


図10 計算結果と観測結果