

II-165

透水性基岩を有する山腹斜面の流出特性とその集中化に関する研究

(株) 東京電力 正会員 池上達夫
名古屋大学工学部 正会員 松林宇一郎
名古屋大学工学部 フォロー 高木不折

1. はじめに 単位図法や貯留関数法などの集中型モデルは、式が簡単で実用的であるが、その物理的機構やパラメータの意味が曖昧であるといった欠点を持っている。松林ら¹⁾は、難透水性基岩上の表層斜面を対象の場として不飽和浸透流解析を行い、土壌特性や地形特性を貯留関数のパラメータと関連づけた。そこで本研究では、表層の下を透水性基岩として不飽和浸透流解析を行い、その流出特性を明らかにし、現象の物理的特性をタンクモデルに組み込むことを目的とした。

2. 対象流域 実際の現象として岐阜県恵那郡に位置する兼平試験流域の流出を念頭にいた。この流域の斜面の地質構造は、有機質で濃褐色の多孔質な層から茶色の粘性土へと変化しながら表層が約1mまで続き、その下は花崗岩が風化した砂土となっており、水が浸透する透水性基岩である。また、流域の流出は雨に敏感に反応することがわかっている。

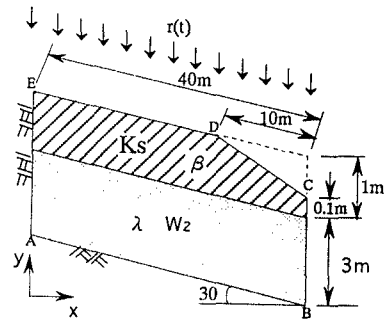


図1 斜面モデル

3. 解析方法 斜面の不飽和浸透流の基礎式としてRichardsの式を用いた。

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

ここで、 θ : 体積含水率、 ϕ : 水理ポテンシャル、 $K(\theta)$: 不飽和透水係数、 ψ : 圧力水頭、 t : 時間、 C : 比水分容量
この問題を解くには土壌の不飽和特性として $K-\theta$ 関係、 $\theta-\phi$ 関係を与える必要がある。そこで本研究では $K-\theta$ 関係として一般化Kozeny式を、 $\theta-\phi$ 関係として谷式を用いることとした。

$$K = K_s Se^\beta = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad \dots (2) \quad Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{|\psi|}{|\psi_0|} + 1 \right) \exp \left(-\frac{|\psi|}{|\psi_0|} \right) \quad \dots (3)$$

ここで、 θ_s : 飽和水分量、 θ_r : 残留水分、 Se : 有効飽和度、 K_s : 飽和透水係数、 β 、 ϕ_0 : 係数

また、透水層の飽和透水係数は深部になるほど透水性が悪くなると考えられる²⁾。そこで本研究ではこれをexponential的に小さくすると考え、次式のように与えた。

$$K(y) = K_0 \exp(-\lambda y) \quad \dots (4)$$

ここで、 K_{s0} : 表層との境界での透水係数、 λ : 定数

対象とする斜面は図1のようなものを用いた。初期状態は兼平試験流域の基底流量を参考に、それに対応する雨を定常的に降らせ流出量=流入量となった状態を初期状態とした。計算手法としては有限要素法を用いて計算した。

4. 土壌特性による流出特性 表1で下線部の値を基準値に感度分析を行い、流出特性を検討した。また表層の飽和透水係数 $K_s=0.07(\text{cm/s})$ 、表層の ϕ_0 は-10cm、透水層の ϕ_0 は-20cm、表層の有効間隙率 $W1=0.10$ 、透水層の透水性のパラメータ $K_{s0}=0.001(\text{cm/s})$ とした。降雨波形は継続時間12時間で、ピークが6時間目でその強度が10.8(mm/day)となるような三角形波形を与えた。

図2は表層の β を変化させた場合のハイドログラフである。立ち上がり部および低減の後半では β の違いによる変化はみられない。これはこの部分の流出は表層からではなく透水層からの流出が大きいためである。違いがみられるのはピーク付近であり β が大きいほど流

表1 各種パラメータ

パラメータ	値
表層の β	4, <u>8</u> , 12
透水層のパラメータ λ	0.0058, <u>0.0077</u> , 0.0154
透水層の有効間隙率 $W2$	<u>0.05</u> , 0.10, 0.15

出量が多い。これは同一のSeに対して β が大きい方が透水性が良くなるためと考えられる。図3は透水層の透水性のパラメータ λ を変化させた場合の計算結果である。 λ はその値が大きい方が透水性が下がり、大きい方が上がるという性質を示す。この図を見ると λ が大きい方がシャープな流出を示し、小さい方がフラットな流出を示すことがわかる。 λ が大きいとすぐに立ち上がるが、これは初期状態で地下水面が高いためである。図4は透水層の有効間隙率 W_2 を変化させた場合のハイドログラフである。この図から W_2 が大きいと流出しにくくなるがわかる。 W_2 が大きいということは、土壤に貯留可能な水の量が大きくなることを意味し、このため雨が降っても流出しなかったと考えられる。

5. 水分量の移動を考慮したタンクモデル 前節でわかった流出特性や斜面内の水の流れの現象をタンクモデルの中に組み込むことを試みる。図5の断面内部での流出量 q を示したのが図6である。図7より透水層の流出の後に表層からの流出が始まることわかる。下流端の流出の方が上流部より速い。これは下流端の方が表層が薄いためであると考えられる。また水の流出は地下水面に到達した後に起こることがわかった。そこで次のようなタンクモデルを考えた(図7)。まず水の浸透はGreen-Amptの浸透モデルに従って、つまり浸潤前線の深さ h_1 と含水率 θ で表される長方形とした。タンクの上部と底部の水の状態は次の連続式を満たすように与えた。

$$h_1' = h_1 + v \cdot dt \quad \dots (5), \quad h_1' \cdot \theta_1' = h_1 \cdot \theta_1 + r \cdot dt - v_i \cdot dt \quad \dots (6)$$

$$h_2' \cdot \theta_s = h_2 \cdot \theta_s + (v - f) \cdot dt - Q \cdot dt \quad \dots (7)$$

ここで、 h_1, h_1' : $t=t, t+dt$ での浸潤深さ、 h_2, h_2' : $t=t, t+dt$ での水面高さ、 θ_1, θ_1' : $t=t, t+dt$ での含水率、 f : 下への水の浸透量、 θ_s : 飽和含水率、 Q : 外部への流出量、 v_i : θ_i でのダウズ流速
このタンクモデルで計算した結果を図8に示す。表層部のタンクは図6と比較しても傾向的なものは再現できているが、透水層部のタンクは今後の検討が必要となる。

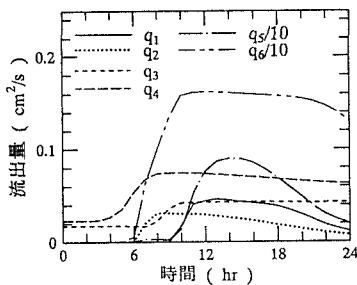


図6 各断面の流出量

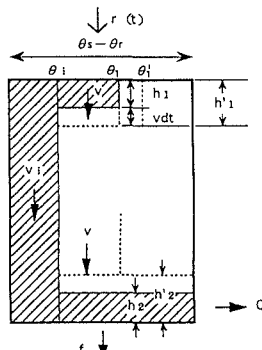


図7 タンク内の流れ

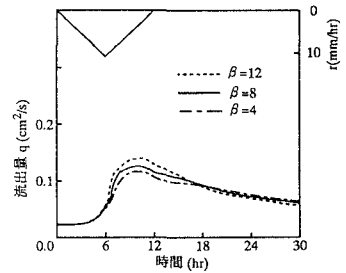


図2 β を変化させた場合

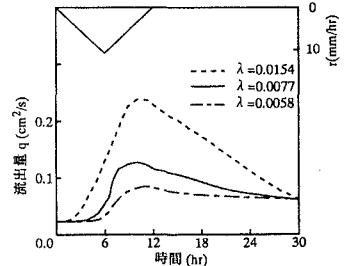


図3 λ を変化させた場合

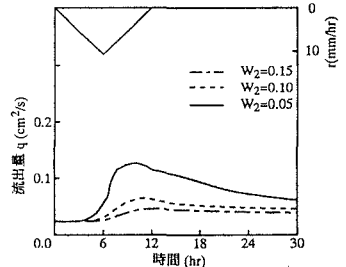


図4 W_2 を変化させた場合

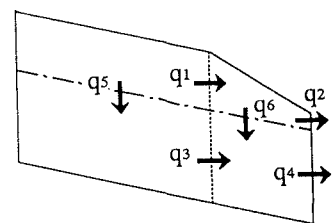


図5 各断面の流出

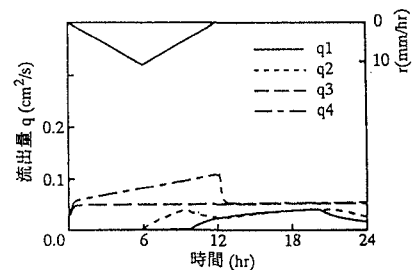


図8 タンクモデルで計算した流量

参考文献 1) 松林宇一郎・高木不折・古田直: 不飽和浸透理論に基づく斜面モデルの集中化, 土木学会論文集, 1994 2) 渡辺邦夫・管伊三郎: 岩盤の地下水調査, 地質と調査, 1988, 4月号