

29 2次元断面の不飽和浸透流モデルによる斜面ライシメーター流出の長期再現計算

東京大学大学院 ○白木克繁

東京大学農学部 鈴木雅一

東京大学農学部 太田猛彦

1. はじめに 斜面崩壊の発生を予測するためには、斜面土層内の水の挙動を把握する必要がある。また降雨直前の土壌の初期水分状態を設定する問題を回避するため、長期間にわたり連続的に土壌中の水の挙動を飽和不飽和浸透計算により計算することが重要である。また、これは水質形成の詳細な理解や、降雨流出応答関係を総合的に解明する上でも解決しなければならない課題である。現在までも2次元断面斜面を対象とした物理計算モデルは数多く提示されているが、これらの解析はモデルの提示や一降雨が対象であったりして、実際の斜面へ長期間適用した例はない。そこで本研究では、土壌中の水の挙動と地下水位の変動を予測する初期段階として、単純な斜面である東京大学愛知演習林の斜面ライシメーターでの降雨と流出を観測し、これに新たに工夫した差分法を用いて、長期間にわたり物理モデルの連続計算を行った。この結果、長期短期どちらで比較しても観測された流量と計算値とが良好な適合を示したので、ここに報告する。

2. 観測地の概要 観測の対象となっている東京大学愛知演習林内の斜面ライシメーターは、愛知県犬山市の北東部に位置し、地質は第3紀鮮新世砂礫層である。当観測設備は1984年12月に設置され、開設の際土体を破壊し埋め戻している。このライシメーターは、側面及び底面がコンクリート製の防水壁で、この面からの水の流入はない。大きさは幅3.0m、斜面長6.2m、深さ2.5mであり、20度の傾斜がついている(図1)。地表面は草本に覆われている。降雨は転倒升によって自記し、流出量はライシメーター谷側側面最下部にある孔隙からの浸出量を、同じく転倒升により自記している。解析に使用したデータは1992年12月から1993年9月までの10ヵ月間のデータを用いた。この間、表面流はほとんど発生しなかったことが観測されている。

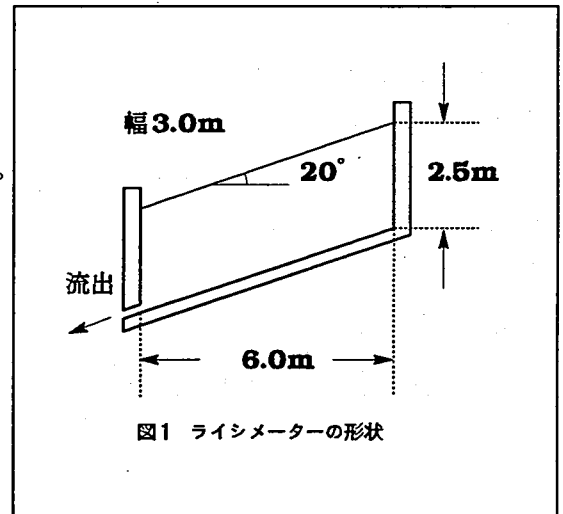


図1 ライシメーターの形状

3. 物理モデルの構成 運動則は不飽和に拡張されたダルシー則に従い、連続式を満たすようにする。透水性と保水性を表現する関数としては、次式を用いた。

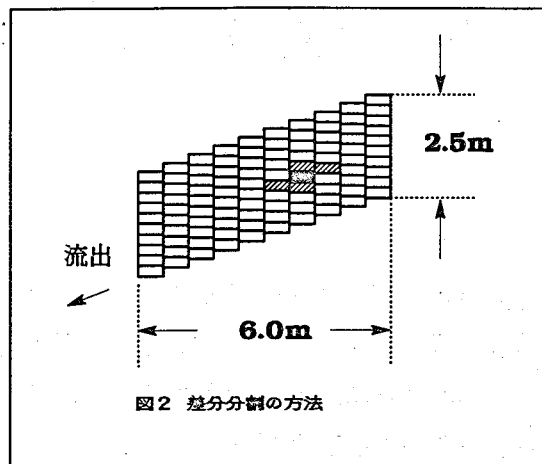
$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} + 1 \right) \exp \left(- \frac{\varphi}{\varphi_0} \right) + \theta_r$$
$$k = k_s \cdot \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta$$

ここに、 θ : 体積含水率、 θ_s : 飽和含水率、 θ_r : 移動可能な水がほとんどないと見なせる時の含水率、 φ : サクシヨン、 φ_0 : $\partial\theta/\partial\varphi$ の最大値をとるサクシヨンの値、 k : 透水係数、 k_s : 飽和透水係数、 β : 不飽和領域での透水係数のオーダー低下を意味する係数である。

水の移動計算は隣あうセルの間で行われる、陽的な計算手法を取る。斜面ライシメーターは一様な斜面であるので、2次元断面での解析を行う。この平面を10×10の100個のセルに分割し、差分法を行う(図2)。今回は2次元平面を想定しているので、ひとつのセルにつき、隣り合うセルは周辺部を除き4つになる。

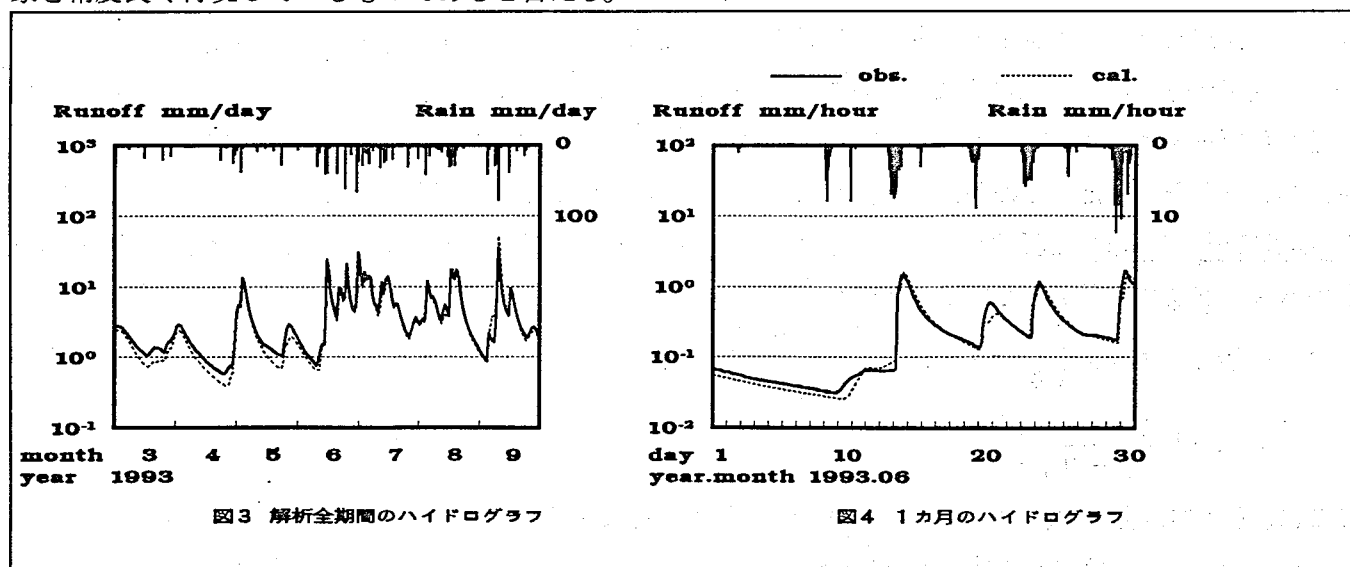
陽解法は計算手順が明快であるが、飽和不飽和計算では、解が不安定になることが避けられなかった。これを回避するため、本研究では次のような手法を取った。

まず、2つのセルの間の流量を一度ダルシー則で求め、連続式に当てはめる。さらにこの状態から再度計算単位時間が経過したと仮定した場合の流量を計算する。このようにして得られた二つの計算流量の平均を、この計算単位時間での流量とする。さらに連続式に当てはめる段階で、セルに対する流入と流出に時間差を設けた。これは、陽解法での発散、不安定性の原因が水の流れすぎにあるので、これを極力おさえようとする工夫である。



降雨の入力は最上部のセルに対して行い、このセルに速やかに浸透するものとした。末端条件は、実際のライシメーターを想定し、谷側最下部のセルは正圧にならないものとした。そして正圧を越える流量がこのセルに供給されたとき、これをこのモデルの流出量とした。損失量計算の方法として、降雨中は降雨の一定割合が蒸発するものとし、無降雨時は、月別に設定された蒸発強度と土壌表面の乾燥度によって蒸発散量を計算し、これを最上部のセルから減ずることとした。

4. 計算結果と考察 計算に使用した土壌物理条件を決めるパラメーターは、実測流量に適合するようにトライアルで決定した。また計算時間単位は3分とした。この計算時間単位で計算は安定であることを、計算経過をモニターする事で確認してある。計算は市販の計算機 (DX 4 100 MHz) を用い、10ヶ月の計算を行うのに約6時間かかった。流出量の計算結果を図に示す。解析時間全体を見ると、流量の少ない乾燥時からその後の流量大の時まで、実測値と計算値は非常に良くあっている (図3)。また短期間を注目してみても、計算流出量の立ち上がりも実測値と適合していることがわかる (図4)。これらにより、この計算方法が現象を精度良く再現しているものであると言える。



5. 謝辞 本研究を行うにあたり、東京大学愛知演習林のみなさま及び元演習林長 西尾邦彦教授 (現 東京農業大学) のお世話になりました。特にデータの取得は、演習林技官 渡部 賢氏のご尽力によってなされたものです。ここに謝意を表します。