

神戸大学工学部 学生員 ○前田 佳代
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 沖村 孝
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 鳥居 宣之
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 沖川 良太

1. はじめに

毎年豪雨期になると全国各地の山腹斜面において多発している土砂災害は、地表面に到達した降雨が地中に浸透することによって、すべり面の力学的均衡が損なわれることから発生するため、崩壊を予知・予測するには土層に浸透していく雨水の挙動を正確に評価しなければならない。このような雨水の挙動を評価するために、沖村ら¹⁾は数値地形モデルを用いて地下水位の経時変化を求める「集水モデル」を提案した。この集水モデルでは表土層内の降雨の鉛直不飽和浸透過程を省略し飽和浸透流として取り扱っている。一方、この降雨の鉛直不飽和浸透過程を考慮するため、飽和・不飽和領域における雨水の浸透過程を数値解析により求めようとする手法が用いられている²⁾。しかし、不飽和領域を対象とした浸透解析は入力パラメータが多く、それ自体を推定することが困難であるため、広域を対象とした崩壊発生予測を目的とする場合の浸透解析としてはかえって精度を落とす恐れがある。そこで本報では、不飽和領域における雨水の浸透を簡略化したモデルを沖村らのモデルに組み込んだ集水モデルを新たに提案する。

2. 沖村らによる集水モデルの概要

沖村ら¹⁾によって提案された集水モデルは、平面を正方形メッシュに分割した数値地形モデルを用いて各時刻における各要素内の地下水位を次式により算出するものである。(図-1 参照)

$$h^{(1)} = h^{(0)} + (q_1 + q_2 - q_3 - q_4) \Delta t / \lambda \cdot a + r \cdot \Delta t / \lambda$$

$$q_i = h^{(0)} K_s I_i$$

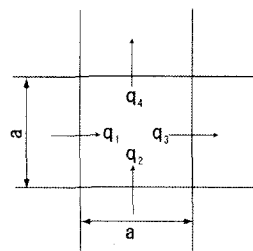


図-1 要素内の地下水位の流れ

ここに、 $h^{(0)}$:時刻 t におけるセル中心での地下水位 (m), $h^{(1)}$:時刻 $t + \Delta t$ におけるセル中心での地下水位 (m), q_i ($i=1 \sim 4$):図-1に示す各断面の単位時間単位幅流量 (m^2/hr), I_i ($i=1 \sim 4$):各方向の動水勾配, a :メッシュ間隔 (m), r :有効降雨強度 (m/hr), K_s :飽和透水係数 (m/hr), λ :有効間隙率

3. 提案する集水モデルの概要

本報で提案する集水モデルは、平均体積含水率 θ と地下水位 H がある関数で表しうるものと仮定し、この関数 ($H-\theta$ 関数) を用いて降雨の鉛直浸透過程を考慮する。本モデルでは数値地形モデルの各セルに一樣の表土層厚を与えた直方体の要素を基本要素とする。各基本要素において、時刻 t の地下水面以上の不飽和領域における平均体積含水率が Δt 間における浸透水の側方流入出と降雨の鉛直流入により増加した分を $H-\theta$ 関数によって水位に換算し、この水位を時刻 t の地下水位に足したものを時刻 $t + \Delta t$ の地下水位とする。(図-2 参照) 時刻 $t + \Delta t$ の地下水位および不飽和領域における平均体積含水率は次式で算出する。

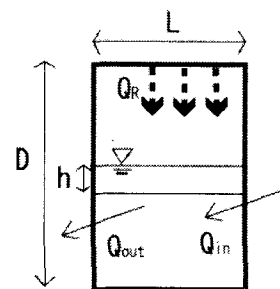


図-2 本集水モデルの基本要素

$$H^{t+\Delta t} = H^t + \frac{Q_{in} - Q_{out}}{(\theta_s - \theta_r)L} + h \quad \theta^{t+\Delta t} = \frac{(D - H^t)L\theta^t + (H^t - H^{t+\Delta t})L\theta_s + Q_R + Q_{in} - Q_{out}}{(D - H^{t+\Delta t})L}$$

ここに、 H^t 、 $H^{t+\Delta t}$ ：時刻 t 、 $t+\Delta t$ における要素内の地下水位 (m)、 θ^t 、 $\theta^{t+\Delta t}$ ：時刻 t 、 $t+\Delta t$ における要素内の不飽和領域の平均体積含水率、 θ_s ：飽和体積含水率、 θ_r ：最小体積含水率、 Q_{in} および Q_{out} ： Δt 間の飽和側方流入量および流出量 (m³)、 Q_R ： Δt 間の降雨による流入量 (m³)、 L ：セルの一边の長さ、 D ：要素の表土層厚、 h ： Δt 間における不飽和領域の平均体積含水率の増加分を $H-\theta$ 関数により換算した水位

4. 解析結果の比較

本報では、解析対象地として図-3に示す兵庫県六甲山系観音寺川試験地を選んだ。この試験地では表土層厚推定と微地形区分が行われており³⁾、この結果を用いた。解析領域を

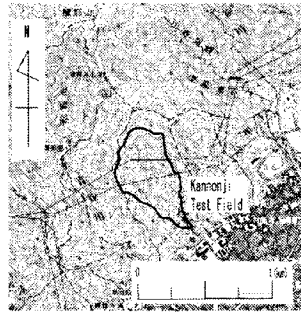


図-3 観音寺川試験地の位置図

10m メッシュに分割し、解析パラメータは透水係数 0.05(cm/s)、初期有効飽和度 0.15 とした。また、本報では図-4に示す2コブ型の降雨波形を成す降雨を与え解析結果を考察する。

観音寺川試験地では表層崩壊のほとんどが微地形区分による谷頭凹地、上部谷壁斜面、下部谷壁斜面において起こったことが判明している³⁾。崩壊跡地からこの3地形の各代表斜面として抽出した3つのセルにおいて、本報で提案する集水モデルおよび沖村らの集水モデルによる解析結果を図-5に示す。この図より、2コブ型降雨の1回目の降雨によって沖村らのモデルでは3地形ともほぼ同時刻に地下水位が発現しているのに対し、本モデルでは時間差が生じている。また、上部谷壁斜面における1回目と2回目の降雨開始後の地下水位の波形を比較すると、沖村らのモデルではほぼ同波形であるが本モデルでは1回目よりも2回目の降雨開始後の地下水位の方が大きな波形を描くという違いがみられる。これは、本モデルでは飽和度の変化を考慮に入れているために、沖村らのモデルでは説明し得ない地下水位の変動を表したものと考えられる。本報では2コブ型降雨を与えた解析結果について述べたが、沖村らの集水モデルに比して、本モデルでは $H-\theta$ 関数を用いたことによって地下水位の発現の仕方に明らかな違いがみられた。今後は、さらに他の様々な降雨波形について本モデルと沖村らのモデルによる解析結果を比較する必要があると考えられる。また、初期条件の影響についても検討し、本モデルを斜面安定解析へと発展させていく予定である。

〔参考文献〕1) 沖村孝他：表土層内浸透水の集水モデルを用いた花崗岩表層崩壊発生位置の予知のための手法，新砂防，Vol.37，No.5(136)，pp.4-13，1985 2) 例えば，亀井健史他：降雨および地下水流が斜面内の間隙水圧挙動に及ぼす影響，地すべり，Vol.33，No.2，pp.10-16，1996 3) 渡辺佳秀：数値地形モデルより推定した表土層厚を用いた崩壊発生位置の予測，神戸大学工学研究科土木工学専攻修士論文，p62，1995

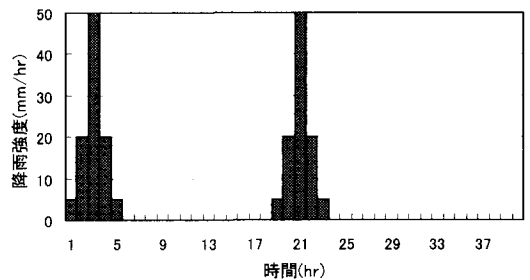
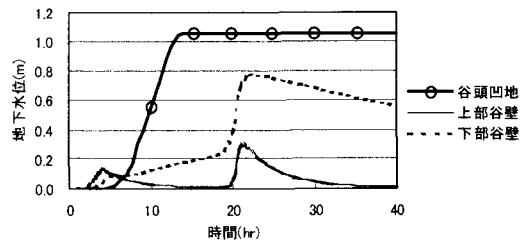
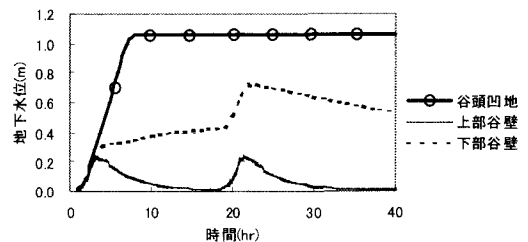


図-4 解析に用いた2コブ型降雨



a) 本モデルによる解析結果



b) 沖村らのモデルによる解析結果

図-5 3地形における解析結果