

室蘭工業大学 学生員 熊谷 英範
同 上 正会員 藤間 聡

1. はじめに

本研究の目的は、降雨流出モデルの確立のために、ブラックボックス的な取り扱いではなく、土壌水分の消長と地下水帯の挙動や地下水流出の様子を考慮し、その対象領域として理想的条件を持つ簡単な山腹斜面領域を仮定して、差分法で解析することによる妥当性を調べることである。

2. 基本方程式^{1),2)}

一般に土壌水の動きは、飽和領域と不飽和領域とに分けることができるが、本研究に用いる方程式は、両領域を同一の式で取り扱うことのできる、次の圧力水頭に関するリチャーズの式を差分法で用いた。

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

ここに、C：比水分容量、K：透水係数。

3. 境界条件及び初期条件

解析領域を図1のようにとり、以下の境界条件を採用した。不浸透層BC、CDおよび対称軸AB、DEでは、 $q_n = 0$ 。降雨時の土壌表面AEでは、表面の状態が不飽和の場合には $q_n = -R$ 、飽和の場合には $\psi_{sur} = 0$ 。ここに、Rは降雨強度。河岸部ABでは、 $\psi = H - Z$ 。ここに、Hは河川水深。

初期条件は、最初に $\psi = H - Z$ で与えた後、解析で用いた降雨と同じ降雨を与え、降雨開始360時間後の状態とした。ただし、不飽和領域で $\psi < \psi_a$ となった場合には $\psi = \psi_a$ とした。ここに、 ψ_a は適当な定数である。

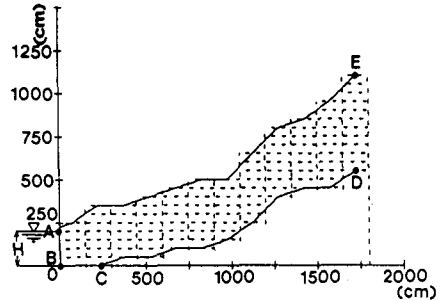


図1 解析領域図(格子点数92)

4. 解析手順³⁾

- (1) 求める $\psi_{i,j}^t$ の第0次近似値に、 Δt 前の値 $\psi_{i,j}^{t-\Delta t}$ を与える。ただし、計算最初の $t=0$ においては初期値を与える。
- (2) 与えられた $K-\psi$ 曲線、 $C-\psi$ 曲線から係数 $K(\psi)$ 、 $C(\psi)$ を算出する。
- (3) $\psi_{i,j}^t$ 、 K 、 C を用いて、差分式から $\psi_{i,j}^t$ の高次近似値を加速緩和法を用いて計算する。
- (4) ここまでの手順を全格子点で行い、収束判定をする。求めた残差の総和が設定した許容残差より小さい場合には、収束したものとして次の手順を行う。大きい場合には、計算によって求めた $\psi_{i,j}^t$ の高次近似値を用いて再び(2)～(4)の手順を繰り返す。

- (5) 地下水流出量 Q_{gr} を、左側境界に接する水面下の格子点からの左側への流出量として、下式から求める。

$$Q_{gr} = \sum K(\psi_{i-\Delta X/2,j}^{t-\Delta t/2}) \times \left(\frac{\psi_{i,j}^t + \psi_{i,j}^{t-\Delta t} - \psi_{i-1,j}^t - \psi_{i-1,j}^{t-\Delta t}}{2\Delta X} \right) \times \Delta Z \quad \dots (2)$$

ここに、 Δt ：時間間隔、 ΔX ：水平方向間隔、 ΔZ ：鉛直方向間隔。

- (6) 最後に、収束した $\psi_{i,j}^t$ を用いて、 $\theta-\psi$ 曲線から、全格子点の $\theta(\psi)$ を求める。そして、計算時間を Δt 進めて、再び以上の手順を繰り返す。

5. 解析条件

解析領域は、水平方向間隔150cm、鉛直方向間隔50cmで格子分割した。領域内の土壌は等方性を仮定した砂質シルトとし、ヒステリシス現象については簡単のため考慮しなかった。採用した土壌特性曲線は図2に示す。またHは200cm、 ψ_a は-150cm、許容残差1.0cmとした。降雨条件については、最小強度0.3mm/hr、最大強度7.5mm/hr、継続時間24.5時間の三角形降雨とした。全計算時間は120時間、時間間隔を30分として計算した。

6. 結果と考察⁴⁾

得られた地下水流出量図を図3、土壌水分分布図を図4に示す。本計算は室蘭工業大学情報処理センターで行い、CPU-TIMEは約2分であり、収束回数は最多8回であった。土壌水分量が短時間に急激な増減を示すことはなく、全体的に緩慢な変化が見られた。右側格子点での水分量の動きが緩慢ながら変化が大きいため、低減部の形成に参与していると考えられる。

差分法の適用については、各間隔の取り方によって収束回数が大きく変化し、発散する場合があることから試行錯誤が必要であること、要素が格子であり実際の対象領域とは合わないことが多く、特に斜面においては階段状になり、結果にもその影響を及ぼすことがあるので、手数がかかる割には必ずしも正確な値が期待できない。したがって、精度を要求されるような場合には不適当であると考えられる。また、降雨強度が大きいなど急激な変化が起こる場合には、やはり収束回数が多くなるか発散するので、実際の降雨現象に適用するためには改良が必要であると考えられる。

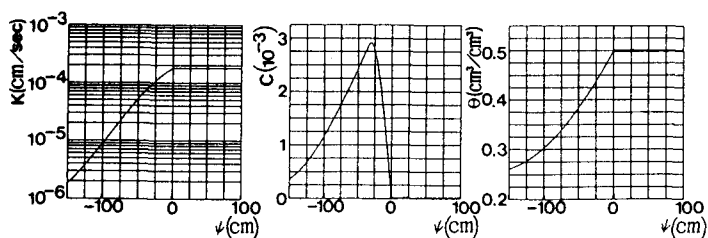


図2 土壌特性曲線図

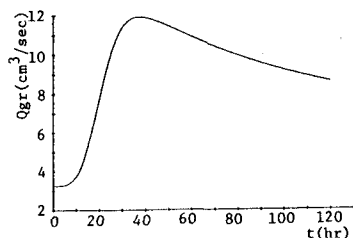


図3 地下水流出量図

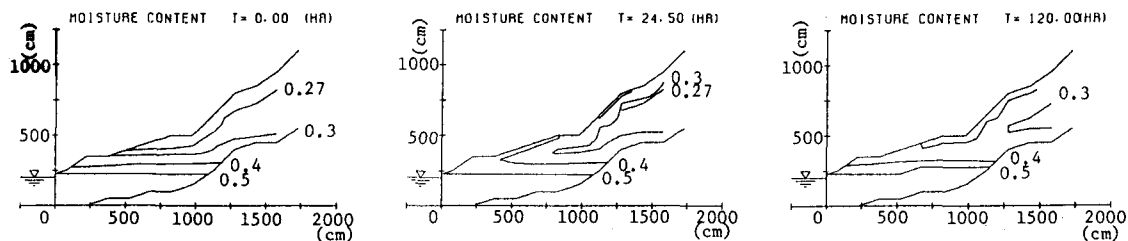


図4 土壌水分量分布図

【参考文献】

- 1) 岡太郎：裸地斜面域における土壌水の流動解析、京都大学防災研究所年報第21号B-2、1978
- 2) カークビー：新しい水文学、朝倉書店、1983
- 3) 嵯峨浩：二次元不飽和浸透流の数値解析について、土木学会北海道支部論文報告集、1985
- 4) 藤間聡、熊谷英範：山腹斜面域における不飽和-飽和浸透流の数値解析、土木学会北海道支部論文報告集、1987