

II-15

鉛直1次元浸透計算における基礎的検討

東北大学大学院土木工学専攻 学生員 ○琴浦 毅

東北大学大学院付属災害制御研究センター 正員 真野 明

1. はじめに

洪水時における流出解析において地中水の計算を物理的に解くことは複雑であるが、流出解析を利用して物質輸送などの現象を再現しようとする場合、流出解析は出来る限り物理的に基づいて正確に計算を行う事が望ましい。以前、著者らは簡易的な地中水計算を組み込んだ擬似3次元流出解析を提案したが¹⁾、地中水の支配方程式を不飽和、飽和域を連続して表現できるものに変更することで精度向上を目指し、洪水流出解析に組み込むことを目的とする鉛直1次元不飽和浸透の基礎的検討を行った。

2. 支配方程式

地中水分量を計算するための支配方程式はRichardsの式(1)式、Van Genuchtenの式(2)、(3)式をCrank-Nicolson法により差分計算を行った。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \theta}{\partial Se} \frac{\partial Se}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (1)$$

$$Se = \frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ 1 + (\alpha \psi)^N \right\}^{-M} \quad (2)$$

$$k_z(\psi) = k_{so} \times Se^{\frac{1}{2}} \left\{ 1 - (1 - Se^{\frac{1}{M}})^M \right\}^2 \quad (3)$$

ここで、 ψ :圧力水頭、 $k_z(\psi)$:不飽和透水係数、 θ_s :

飽和体積含水率、 θ_r :最小体積含水率、 k_{so} :飽和透水係数、 Se :有効飽和度、 α, N は土壌特性を表す定数、また、 $M = 1 - 1/N$ である。

3. 計算条件

土中の最下層は不透水層で水分移動は無いと定義しする。地表面の水分移動フラックスの境界条件は(4)式のように考えるが、本研究の目的の洪水流出解析では i_s に対して w_e は非常に小さいため無視して考える。

$$w_s = -i_s \downarrow + w_e \uparrow + w_g \uparrow \quad (4)$$

$$\begin{cases} i_s \downarrow: \text{地表降雨浸透速度} \\ i_s = \begin{cases} i_{s\max} & r_s > i_{s\max} \\ r_s & r_s < i_{s\max} \end{cases} & \begin{matrix} r_s: \text{降雨強度} \\ i_{s\max}: \text{最大浸透速度} \end{matrix} \\ w_e \uparrow: \text{地表蒸発速度} \\ w_g \uparrow: \text{地下水湧出速度} \end{cases}$$

最大浸透速度については、第1層目が飽和し、第1層目の水分移動フラックスが上向き、もしくは水分移動が無い場合は0とを与え、それ以外は飽和透水係数を与えた。

4. パラメーター変化による影響と考察

土壌全体が飽和に到達するまでの時間を比較することで、以下に示す3個のパラメーター変化の影響を考察した。それ以外のパラメーターは以前のモデルを参考にパラメーター値を与えた。

4.1 α, N の影響

表-1に示すパラメーターを用い、新しく導入した式に含まれるパラメーターを変化させた時の影響を示したのが図-1である。縦軸は土壌全体の飽和到達時間、横軸は N である。同じ土壌深さ、降雨条件で計算を行っても飽和到達時間が異なること、 α, N の値によっては有効な計算結果が出ないことが分かる。これは土壌特性として示すパラメーターを適切に与えられていない結果と考えられるため、土壌により変化する透水係数、 α, N の関係を考えて適切に与える必要があると分かる。

4.2 初期水分量の影響

初期水分量は、地下水面の位置から鉛直方向に $\Phi = \psi + z = 0$ (Φ :ピエゾ水頭、 ψ :圧力水頭、 z :高度水頭)を満たすように分布させた。地下水面が下層境界層より上側にあると設定すれば土壌に初期水分量は多く、下側にあると設定すれば初期水分量は少なく

なる。降雨条件, 初期地下水面位置を変化させた場合, 土壌全体が飽和する時間までの変化を図-2 に示し, 計算時のパラメータ値を表-1 に示す。この図から初期設定地下水面が深いほど初期土壌水分量が少ないので飽和するまでの時間が必要であることが判断できるが, 初期設定地下水面をある程度以上深くすると計算結果に大きな影響を与えないことが分かる。また, 降雨強度が弱いほど初期設定地下水面の変化による影響が大きいことが分かる。

4. 3 分割数, 計算時間による変化

地中部を $imax$ 分割した時の 1 メッシュ高さを dz , 計算における 1 ステップを dt とする。同一土壌の計算を同一時間で行う場合, i を小さくし dt を大きくする方が計算時間の減少につながるため, 様々な条件で計算を行い, 有効な精度が出る範囲を模索した。

図-3 はある土壌が飽和するまでの時間を縦軸に, 横軸は $(dz/dt)/kso$ で表される無次元パラメータ: β を用いて示してある。また, 図中には $imax$ が 20~100 までのグラフが示し, この計算に用いた他のパラメータを表-1 に示す。

計算の安定は差分法により異なるが, この図を見ると概ね β が 2 を超えると飽和到達時間が一定で安定して求められ, どの $imax$ の条件でも同様な結果が得られることが発見された。つまり, この(1)から(3)式を用いて計算を行う場合, i , dt , dz の設定は β が少なくとも 3 以上の値を持つように設定すれば計算が安定することを示している。しかし, Crank-Nicolson 法で示される理論的な計算安定条件と今回の β との関係調べる必要がある。

5. まとめ

洪水時の物質輸送などを考えるためにはできる限り物理的に基づいて計算する必要があるため, 洪水イベントごとに流出率を与えるのではなく初期条件として水分量を与え, 実降雨を用いて流出計算することが有効であり, 今回の結果は利用価値が高いと言える。また, 有効な精度を得るための計算を行える条件が明らかになり, 理論値との比較を行うことで有意性を確認できれば, 洪水流出解析に適応した時に計算時間の短縮化を図る時に容易な形で活用できると期待される。

表-1 計算に利用したパラメーター

	図-1	図-2	図-3
初期地下水面深さ(cm)	210	varied	210
降雨(mm/hr)	20	varied	20
分割数	20	20	varied
$dt(sec)$	30	30	varied
土壌深さ(cm)	200	200	200
k_{so} (cm/s)	2.7×10^{-2}	2.7×10^{-2}	2.7×10^{-2}
N	varied	3	3
α	varied	0.03	0.03
θ_s	0.6	0.6	0.6
θ_r	0.3	0.3	0.3

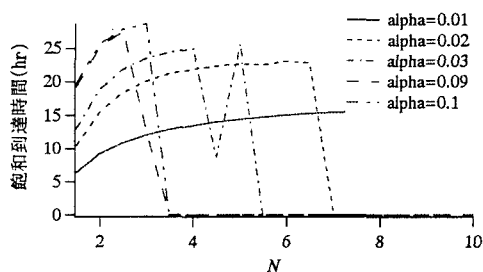


図-1 α, N 変化による飽和到達時間変化

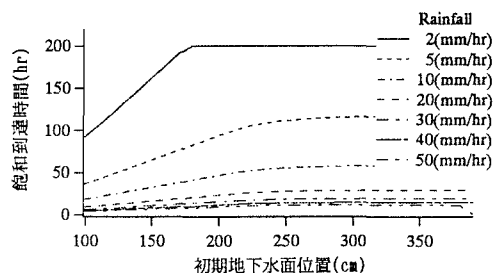


図-2 初期水分量変化による飽和到達時間変化

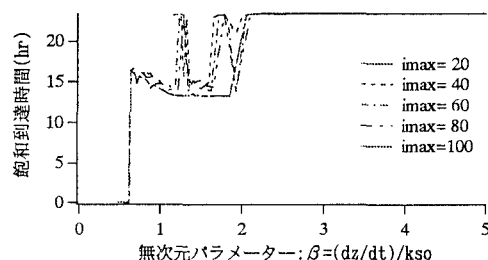


図-3 β 変化による飽和到達時間変化

参考文献 1) 琴浦毅, 真野明: 地下水流を考慮した分布型洪水流出解析, 東北支部, 平成 11 年度, pp.210-211