

II-58

地下水流を考慮した分布型洪水流出解析

東北大学工学部 学生員 ○琴浦毅

東北大学大学院 正 員 真野明

1 はじめに

台風などの強降雨時の出水時における流出解析を精度よく再現するためには、流域全体で地下への浸透を考慮に入れた計算が必要となるが、これを2次元的に計算すると計算量が膨大になり実用的ではない。本研究では一級河川である阿武隈川全流域を対象とする出水における流出解析に組み込むことを目的とした、地下水流動を鉛直下方への浸透と側方流動を分ける計算方法を開発し、その妥当性を検証する。

2 計算方法

国土数値情報により擬河道網を作成し、山地斜面、平地斜面、河道に分類し、地下水流は山地斜面のみで起こると考え、表面流出は kinematic wave 法、飽和地下水流はダルシー則、地下への不飽和鉛直浸透はダルシー則を不飽和領域まで拡張した Richards の式を用いて計算する。

3 地下水計算法概念

3-1 連続式

山地斜面の各メッシュにおいて図1のように座標系を定義し、 (x, z) 方向流速を (u, w) 、土壌水分含水率を θ で表すと連続の式は

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (1)$$

となり、この連続式を (x, z) 方向に分解して計算し、 z 方向の不飽和浸透計算の結果を x 方向の計算結果により補正するものとする。

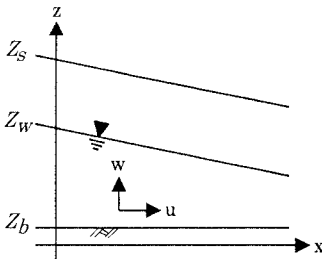


図1 座標系

3-2 不飽和鉛直浸透

z 方向浸透のみを考え側方流動を無視した場合の土壌水分含水率を θ_1 と定義すると、 θ_1 は以下の3式((2):Richardsの式、(3):Brooks & Coreyの表示法、(4):Cambellの表示法)により求められる。

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k_z(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial \psi} = (\theta_s - \theta_r) \lambda \frac{\psi_{cr}^\lambda}{\psi^{\lambda+1}} \quad (3)$$

$$k_z(\psi) = k_{so} \left(\frac{\psi_{cr}}{\psi} \right)^\gamma \quad (4)$$

ここで、 ψ は圧力水頭、 $k_z(\psi)$ は不飽和透水係数、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は最小体積含水率、 k_{so} は飽和透水係数、 ψ_{cr} は限界圧力水頭、 γ, λ は定数である。

3-3 飽和側方浸透

x 方向浸透のみを考えた場合の土壌水分含水率を θ_2 と定義すると、 θ_2 は側方浸透に x 方向の変化があることによって生じる分布で、しかも飽和浸透層内での浸透なので θ_2 は飽和面近くで有意である。

θ は θ_1 の形を変えないで、 z 方向に $c_g dt$ だけ平行移動しただけとすると

$$\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \theta_2 dz = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} c_g \cdot \delta t d\theta = c_g \cdot \delta t (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \quad (5)$$

両辺 δt で除す事により(5)は以下ようになる。

$$c_g = - \frac{1}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} \frac{\partial Q_g}{\partial x} \quad \left(\because \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \theta_2 dz = - \frac{\partial Q_g}{\partial x} \right) \quad (6)$$

ここで Q_g は地下水飽和側方流量で、これはダルシー則(7)から求められる。

$$Q_g = -k_{so} h i \quad \begin{cases} h: \text{飽和層の厚さ} \\ i: \text{動水勾配} \end{cases} \quad (7)$$

この時、

$$\theta_2 = -\frac{\partial \theta_1}{\partial z} c_g \cdot \delta t \quad (8)$$

3-4 地下水面位置決定

以上の結果を用いて水分量変化を補正する。

$$\theta = \theta_1 + c_g \cdot dt \quad (9)$$

(8)から z 方向土壤水分量分布を得て、地下水面の位置 h を決定する。

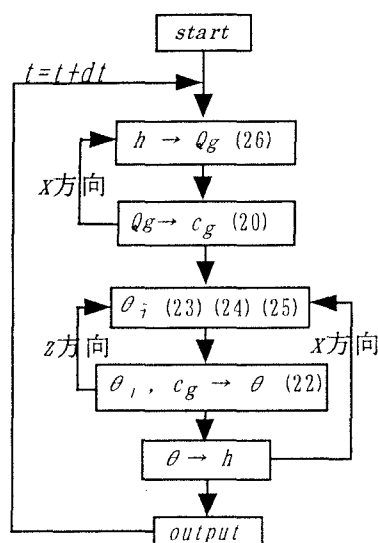


図2 鉛直浸透計算フローチャート

4 表面流出計算法

各メッシュにおいてkinematic wave法を用いて、擬河道網を通じて河口まで追跡計算する。任意断面形状の流路における洪水移動速度を表す Kleitz & Seddon の式を利用すると支配方程式は次式になる。

$$\frac{1}{w} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r B_{sl}, w = \frac{Q}{A} \left(\frac{5}{3} - \frac{2}{3} \frac{A}{B^2} \frac{\partial B}{\partial y} \right) \quad (10)$$

ここで、 w は洪水の移動速度、 Q は流量、 t は時間、 x は流下方向の距離、 y は水深方向の距離、 A は流域断面積、 B は水面幅、 B_{sl} は降雨を与える幅である。等流を仮定すると、 A 、 B はマンニングの公式を用いて Q を使って表現できる。この式を差分化して流出計算を行う。

5 結果と考察

山地斜面で起こると考える今回開発した鉛直不飽和浸透手法を建設省土木研究所で実施された大型模型堤防実験に適用し、それにより得られた計算結果と実験値を図3に示す(実験条件等は入江を参考1)。図3において、線は計算値、描点は実験値である。これを見ると今回開発された鉛直不飽和浸透プログラムの結果は、地下水側方流により鉛直分布を補正する簡便方であるにも関わらず、実験値によく一致しているものが得られるものと考えられる。よって、この手法は有効であると言える。

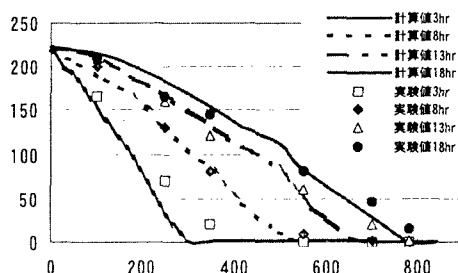


図3 実験値と計算値との比較

6 まとめ

今回の実験値との比較では水平1次元、鉛直1次元の2次元問題として考えられているが、これを水平2次元、鉛直1次元の3次元問題に拡張する、つまり既存の流出解析モデルに組み込むことが出来れば、洪水時における流出解析において非常に精度の高いものが得られる事が予想され、今後の研究の課題である。

参考文献

- 1) 入江三輝・鈴木伴征・石川忠晴: 水平飽和浸透と鉛直不飽和浸透を可変協会で接合した疑似2次元浸透流計算について、水工学論文集、第43巻、pp.181-186、1999。