

地中水の浸透解析を組み込んだ分布型水文モデルの開発に関する研究

長岡技術科学大学 学生会員 ○ 猪野 祐一
長岡技術科学大学 正会員 熊倉 俊郎
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎
長岡技術科学大学 フェロー 早川 典生

1. はじめに

これまでの分布型水文モデルには新安江モデルのような貯水槽モデルが組み込まれている．これらのモデルでは降雨または浸透水を貯水層に貯留し，流出または浸透させる．しかしながら，これらのモデルのパラメータが実際の土層中の水の移動と対応しているかどうか明確ではない．そこで，本研究では雨水の地中への浸透過程を，不飽和浸透流の基礎方程式を解くことにより解明し，各パラメータの対応をみる．

2. 原理

本モデルでの土層中における不飽和浸透流の計算方法は Richards (1931) の方程式を採用した．

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k(\theta) \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(\theta) \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(\theta) \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial z} \right\} + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} \quad (1)$$

ここで，毛管ポテンシャル $\phi(\theta)$ と透水係数 $k(\theta)$ は含水率 θ に依存して決まり，Burdine (1958) から議論されてきた関係式²⁾を用いると，

$$\phi(\theta) = \phi_b S_e^{-\frac{1}{\lambda}} \quad (2)$$

$$k(\theta) = k_s S_e^{3+\frac{2}{\lambda}} \quad (3)$$

ここで， ϕ_b は空気侵入圧， k_s は飽和透水係数であり， λ は pore-size distribution index と呼ばれ，それぞれ土壌の種類により変化するパラメータである．

また， S_e は有効飽和度であり，次式により与えられる．

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

ここで， θ_r は残留含水率， θ_s は飽和含水率である¹⁾．

3. 計算条件

図 1. に示すような試験地層モデルにおいて，表面

流出が発生しない程度の少雨 (10mm/hour) を与えた場合の中間流出について解析した．実際の計算では，式 (1) を 10cm メッシュに分割し，陰解法により計算を行った．

このときの A B ・ B C ・ C D ・ D A の各境界条件は以下のように設定した．

$$A B : k(\theta) \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial x} = 0 \quad (0 < z < 5)$$

$$\phi = \phi_b \quad (5 < z < 15)$$

$$B C : k(\theta) \left\{ \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial z} + 1 \right\} = 0$$

$$C D : \theta \rightarrow \theta_r \quad (\text{air})$$

$$D A : k(\theta) \left\{ \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial z} + 1 \right\} = \text{Precipitation}$$

また，以下の 2 式を満足するような含水率 θ を与えて計算を開始し，準定常状態に達したときの土壌水分分布を初期条件とした．

$$k(\theta) \left\{ \frac{\partial \phi(\theta)}{\partial z} + 1 \right\} = 0 \quad (0 < z < 5)$$

$$\theta = \theta_s \quad (5 < z < 15)$$

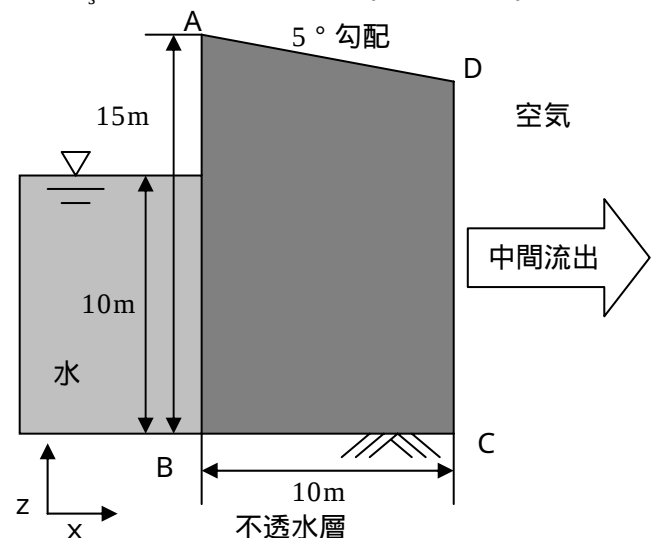


図 1. 試験地層モデル略図

キーワード 不飽和浸透流，流出解析，土壌水分特性，透水係数

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 T E L 0258-47-9664 E-mail: ino@hydro.nagaokaut.ac.jp

対象土壌は関東ロームと成田サンドで、各パラメータは以下の通りである。

・関東ローム

$$\begin{aligned}\phi_b &: -0.4m & k_s &: 5.0e^{-6}m/s \\ \theta_s &: 0.772 & \theta_r &: 0.589 & \lambda &: 0.250\end{aligned}$$

・成田サンド

$$\begin{aligned}\phi_b &: -0.4m & k_s &: 2.0e^{-4}m/s \\ \theta_s &: 0.400 & \theta_r &: 0.077 & \lambda &: 0.286\end{aligned}$$

4. 結果

図 2. は関東ロームにおいて、計算開始 100 時間後の土壌水分分布である。ここでは示さないが、成田サンドにおいても同様に計算開始 100 時間後の土壌水分分布を初期条件として計算した。

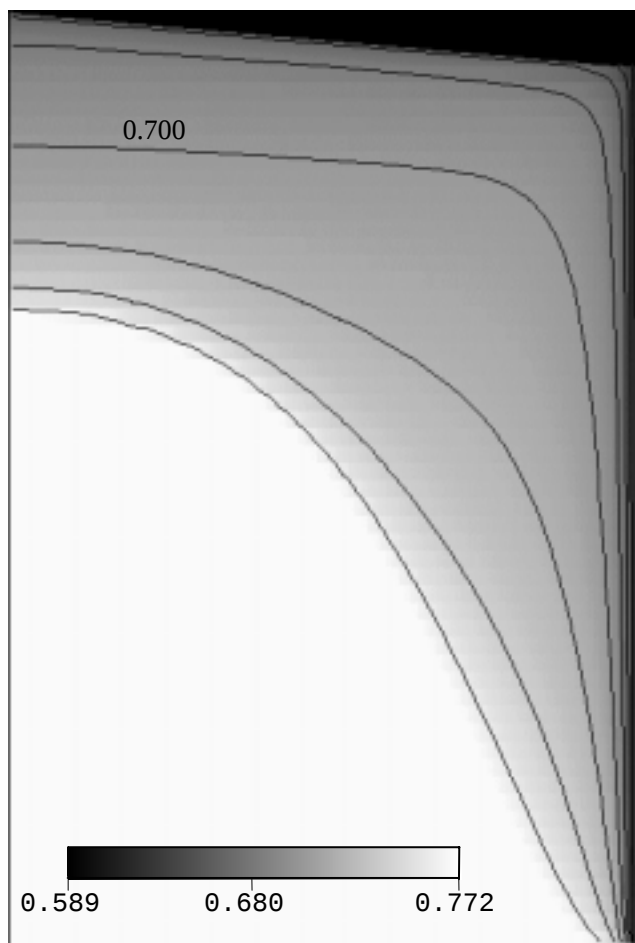


図 2. 本モデルで生成した初期土壌水分分布

図 3. は関東ローム、成田サンドそれぞれの場合で、試験地層モデルに 10mm/hour の降雨を与えた場合の中間流出量（降雨なしの場合を 0 とする）の経時変化を示している。降雨継続時間は、計算終了（20hour）までと、2hour までの 2 通りについて計算している。

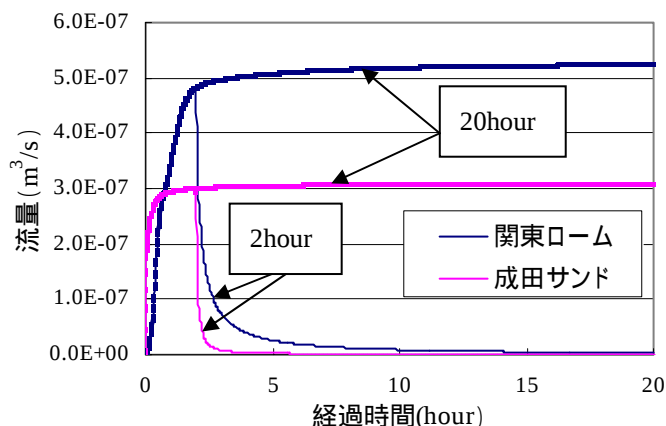


図 3. 中間流出量の経時変化

5. まとめ

本モデルにより、試験地層内における土壌水分の移動および中間流出の挙動を算出することができた。

貯水槽モデルの一つである新安江モデル³⁾において、地下水流出の時間的な挙動を表すパラメータとして貯留係数 K というパラメータがある。

$$\frac{Q}{Q_0} = \exp\left(-\frac{t}{K}\right)$$

ここで、 Q は流量、 t は経過時間である。

本モデルの結果から、この試験地層モデルにおける K を算出すると、関東ロームで約 3500sec、成田サンドで約 900sec という値となった。実流域において新安江モデルを適用した場合、半沢⁴⁾による魚野川六日町上流域での K の値は 35.2day であった。試験地層モデルと実流域でのこのような違いは、水平方向のスケールの違いなどによると考えられる。

半沢は主要な既往洪水より K を決定している。今後の手法として、本モデルを実流域に適用することにより、土壌物理学的な観点から、パラメータの裏づけを行うことができるのではないだろうか。

6. 参考文献

- 1) Bras, Rafael L. : “Hydrology : An introduction to hydrologic science”, Addison-Wesley Publishing Company, 1990
- 2) Brooks, R. H., and A. T. Corey, M. ASCE : “Properties of porous media affecting fluid flow”, Journal of the irrigation and drainage division proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1966, pp.61-88
- 3) Zhao Ren-Jun : “The Xinanjiang model applied in China”, Journal of Hydrology, 135, 1992, pp.371-381
- 4) 半沢 倫子 : レーダ雨量計データを用いた洪水流出予測手法の開発に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 2001