

東北大学大学院 学生会員 ○横尾善之

東北大学大学院 正 会 員 風間 聡

東北大学大学院 フェロー 沢本正樹

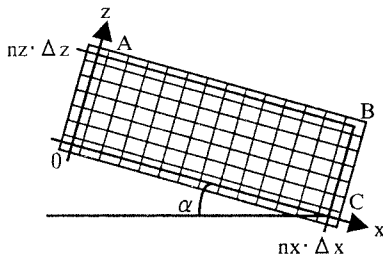
1. はじめに

横尾ら¹⁾は、流域の地理的条件を独立変数としたタンクモデル定数の推定式を提案した。しかし、推定式は重回帰分析により得られたもので、物理的根拠に乏しい。そこで本研究は、2次元数値浸透モデルを用いて透水係数の方向性がタンクモデル定数に与える影響を物理的に検証する。

2. 浸透数値モデル

2-1 モデル構造

解析に用いた2次元数値モデルは、図1に示す通りである。図中、ABは正味の降水・蒸発散を伴う地表面、BCは降雨が流出する下流端、COおよびOAはそれぞれ不透水面、分水嶺に相当する。



□ ; Control Volume ($\Delta x \times \Delta z$)

図1 モデルの構成

2-2 支配方程式

支配方程式には、(1)式に示すRichardsの飽和不飽和浸透方程式を用いた。なお、透水係数の異方性は主成分のみを組込んで考慮している。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} - K_x(\psi) \sin \alpha \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_z(\psi) \cos \alpha \right) \quad (1)$$

$$\left[\begin{array}{l} C(\psi) = \partial \theta / \partial \psi : \text{比水分容量}(1/\text{cm}), \alpha : \text{斜面の傾斜} \\ \theta : \text{体積含水率}, \psi : \text{圧力水頭}(\text{cm}) \\ K_x, K_z : x, z \text{方向の透水係数}(\text{cm}/\text{sec}) \end{array} \right]$$

(1)式を解く際に必要となる体積含水率 θ と圧力水頭 ψ の関係には(2)式に示す谷式²⁾を、不飽和透水係数 K_x, K_z と体積含水率 θ の関係には(3), (4)式に示す一般化Kozeny式³⁾を採用した。

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{\psi'}{\psi_0} + 1 \right) \exp \left(- \frac{\psi'}{\psi_0} \right) + \theta_r \quad (2)$$

$$K_x = K_{sx} \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta, \quad K_z = K_{sz} \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad (3), \quad (4)$$

$$\left[\begin{array}{l} \theta_s : \text{飽和体積含水率}, \theta_r : \text{残留体積含水率} \\ \psi_0 : C \text{が最大となる} \psi(\text{cm}), \beta : \text{定数} \\ K_{sx}, K_{sz} : \text{飽和透水係数}(\text{cm}/\text{sec}) \end{array} \right]$$

(1)式の差分化には、大野ら⁴⁾が提示した「有限体積法にもとづく差分形式」を採用した。これを完全陰解法で時間差分し、ADI法により解いた。コントロールボリューム境界での透水係数の算定には、白木が⁵⁾提案した「上流法」を採用した。

2-3 境界条件

図1のOA, OC, BC, ABでの境界条件はそれぞれ(5), (6), (7), (8)式とした。

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \sin \alpha \quad (5) \quad \frac{\partial \psi}{\partial z} = -\cos \alpha \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} \psi = 0 \quad (\text{飽和時}) \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{不飽和時}) \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = -\cos \alpha \left(1 + \frac{r(t)}{K_z(\psi)} \right) \quad (8)$$

$[r(t)]$: 浸透量 (正值: 蒸発散, 負値: 浸透)

3. 浸透数値実験

3-1 浸透層の条件

浸透層の特性を決定する各パラメータのうち4つについては、次のように設定した。

$$\psi_0 = -30.0 \text{ cm H}_2\text{O}, \theta_s = 0.7, \theta_r = 0.3, \beta = 3.5$$

また飽和透水係数は各実験毎に表1のように設定した。なお、浸透層の傾斜角は各実験ともに $\pi/7 \text{ rad}$ とした。

表 1 各実験毎の飽和透水係数の値

	K_{s_x} (cm/sec)	K_{s_z} (cm/sec)
Case1	0.0300	0.0005
Case2	0.0020	0.0040
Case3	0.0030	0.0030
Case4	0.0100	0.0010
Case5	0.0050	0.0010
Case6	0.0010	0.0050
Case7	0.0005	0.0060

3-2 計算条件

格子サイズは、 Δx を 30cm, Δz を 20cm, 時間間隔 Δt を 1hour として各実験を行った。格子数は x 方向に 100, z 方向に 10 とし、総計算時間は 500day (120,000hour)とした。

3-3 実験結果

浸透計算開始時の圧力水頭を計算領域全域において -90cmH₂O とし、降水・蒸発散を与えずに斜面下端 BC からの各時間毎の流出量を求めた。計算結果を図 2 に示すが、この図から流下方向の透水係数が大きいほど、逓減部が急峻になることが確認できる。

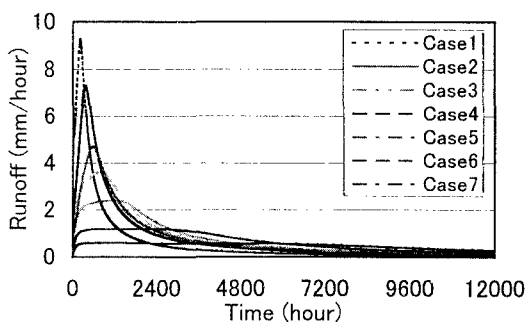


図 2 ハイドログラフ

4. 考察

透水係数の方向性がタンクモデル定数に与える影響を調べるため、流出量逓減部のデータをもとに各実験毎にタンクモデルを構築した。本実験の対象は無降雨時の地下水流出であるため、横尾ら¹⁾の用いた 4 段モデルの下 2 段のみを採用した。ここで、流出孔の高さ Z は 0 に固定することにより、流出係数 A 、浸透係数 B と K_{s_x} , K_{s_z} との関係のみに着目した。 K_{s_x} について得られた結果を図 3 に示す。なお、 A , B に続く数字はタンクの番号である。3 段目の流出係数 A_3 と K_{s_x} との関係は横尾ら¹⁾の得た結果を支持するものであるが、他の関係は横尾ら¹⁾と反対の結果を示した。これは、本モデルの計算領域が小さいために基底流出成分を再現できなかった可能性を示唆している。

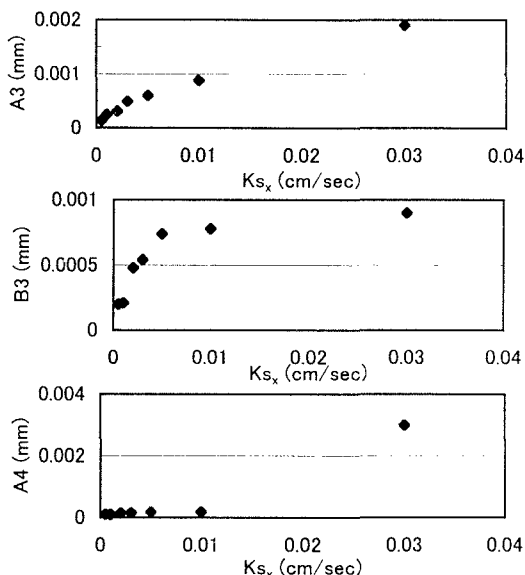


図 3 K_{s_x} とモデル定数の関係

5. おわりに

浸透数値実験により、単一浸透層の透水係数の方向性がタンクモデル定数に与える影響を物理的に評価できた。今後は降水や蒸発散を考慮して、層状浸透層の透水係数の方向性、浸透層厚、流域面積、斜面勾配などの違いがタンクモデル定数に与える影響を評価する。

謝辞

本研究は、日本学術振興会特別研究員研究奨励金および平成 11 年度科学研究費補助金（特別研究員奨励費）の補助を受けました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)横尾善之・風間聡・西村仁嗣・沢本正樹：国土数値情報に基づくタンクモデル定数の推定，水文・水資源学会誌，第 12 巻 6 号，pp.481-491，1999.
- 2)谷誠：一次元鉛直浸透によって生じる水面上昇の特性，日本林学会誌，64(11)，pp.409-418，1982.
- 3)Brutsaert, W.: The permeability of a porous medium determined from certain probability laws for pore size distribution, Water Resources Research, Vol.4, No.2, pp.425-434, 1968.
- 4)大野亮一・鈴木雅一・大田猛彦：最近の動向をふまえた飽和-不飽和浸透数値計算法の検討，砂防学会誌，Vol.51, No.4, pp.3-10, 1998.
- 5)白木克繁：山腹斜面を対象とした粗い空間刻みによる浸透数値計算法の提示，水文・水資源学会誌，Vol.11, No.6, pp.586-598, 1998.