

東京工業大学工学部 学生員 佐藤 昭人

同 上 正会員 日野 幹雄

同 上 正会員 瀬岡 和夫

(株)大成建設 正会員 尾高 義夫

1. はじめに

著者らは先に、テンソメータを埋設したライツメータに人工降雨を与える実験を行なうことにより、初期水分量の違いが、流出率に大きく影響を及ぼしていることを実験的に明らかにしている。このような現象を数値シミュレーションにより定量的に再現するには、その基礎式に含まれるいくつかの土壌特性パラメータを正確に同定しておく必要がある。このような土壌特性パラメータの同定には従来いくつかの手法が用いられて来ているが、多くの場合、労力のかかる土壌試験を必要とし、しかもその際サンプル土壌を乱してしまいやすいという問題がある。本研究では、非線型最小二乗推定法の一つであるMarquardt法を用いることにより、比較的簡便に土壌特性パラメータを同定する方法を示している。この方法は、実験で測定したサクション圧および流出量の時間変化と土壌特性パラメータを用いた数値シミュレーション結果が一致するように、Marquardt法を用いて土壌特性パラメータを最適推定しようとするものである。なお、ここで用いているMarquardt法は、他の最適化方法と比べて使用上の制約が少なくかつ計算時間が短いという特徴を有している。

2. Marquardt法

Marquardt法は、収束が遅いが未知パラメータの予測の難しい時に有効なsteepest-descent法と、未知パラメータの概算が可能な時に収束の速いGauss-Newton法の間中に位置するものとして、次式を用いている。

$$[A^t \cdot A + \lambda \cdot I] \cdot \Delta A = A^t (Z - Y) \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $A^{(n \times k)}: \frac{\partial Y_i}{\partial b_j} (i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$; 但し、プログラム中では微分の型を採っていない、 $I^{(k \times k)}$: 単位行列、

$b^{(k)}$: 未知パラメータ、 $Z^{(n)}$: 実験データ、 $Y^{(n)}$: 計算値、 $\Delta A^{(k)}$: 補正量

上式を用いた $Z - Y \rightarrow \text{Min}$ に近づく同定過程では、最初steepest-descent法に近くなるように λ の値が大きく、徐々にGauss-Newton法に近づいていくように λ の値が小さくなっていくため、収束性が良い。

3. 同定モデル

Richardsの不飽和浸透式(2)を基礎式として、これをimplicitな差分法を用いて解いた結果と実験データとが一致するように、Marquardt法を用いて土壌特性パラメータを同定している。実験データとしては、関東ローム土を敷き詰めたライツメータ(高さ27cm)に人工降雨を与えて得た、深さ10cmおよび18cmの位置のサクション圧と流出量の時間変化(縦データ数27個)を用いている。また、今回は土壌物理条件式として谷が提案したもの(3)~(5)を用いているが、この条件式に含まれている5つの土壌特性パラメータのうち θ_s は、空隙率試験で比較的簡単に精度よく求まるので事前に求めておき、残り4つの土壌特性パラメータ($\gamma_e, K_s, \theta_r, \beta$)と未知パラメータとして設定している。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right\} \quad \text{----- (2)}$$

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{\psi}{\psi_e} + 1 \right) \exp \left(- \frac{\psi}{\psi_e} \right) + \theta_r \quad \text{----- (3)}$$

$$C(\psi) = -(\theta_s - \theta_r) \frac{\psi}{\psi_e} \exp \left(- \frac{\psi}{\psi_e} \right) \quad \text{----- (4)}$$

$$K(\psi) = K_s \left(\frac{\psi}{\psi_e} + 1 \right)^6 \exp \left(- \frac{\psi}{\psi_e} \right) \quad \text{----- (5)}$$

< 記号の定義 >

ψ : 圧力水頭、 θ : 土壌水分量、 θ_s : 空隙率
 $K(\psi)$: 透水係数、 $C(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \psi}$: 比水分容量
 θ_r : 移動可能な水がほとんどないとみなせる含水率
 ψ_e : 比水分容量が最大値を与える圧力水頭
 β : 水分量に対する透水性の減少を示すパラメーター
 K_s : 飽和透水係数

表 1.

θ_s	8.00 E-01
θ_r	4.20 E-01
K_s	9.70 E-02
γ_0	-3.00 E+01
β	5.00 E+00

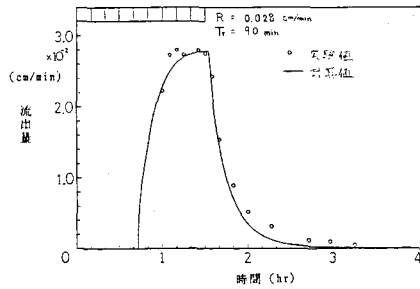


図1.(a) 流出量の時間変化

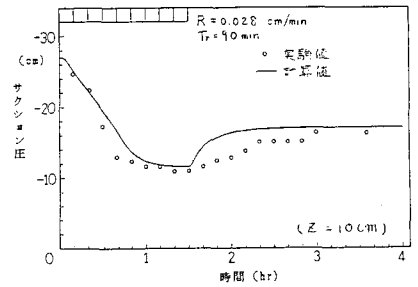


図1.(b) サクション圧の時間変化

4. 計算結果および考察

本計算に先だて、深さ18cmの位置のサクション圧のみの実験データを用いた同定を試みたが、流出量の時間変化が必ずしも良好に再現されないという結果になった。そこで、深さ18cmおよび10cmの位置のサクション圧と流出量の時間変化という3種類の実験データを用いてデータ数を増やす:

とにより制約を厳しくして同定を試みた。図1.(a)および図1.(b)には、それぞれ流出量およびサクション圧について、用いた実験データと同定で得た計算結果が表示されている。また土壌特性パラメータの同定値を表1.に示してある。そしてこれらの値から θ と ψ および θ と K の関係を表わしたのが図2.(a)および図2.(b)である。一方、得られた土壌特性パラメータを用いて別の実験ケースでシミュレーションを行ない、その結果の一例を示したのが図3.(a)および図3.(b)である。図1.(a)および図1.(b)とそれぞれ比較しても、ほぼ同程度の再現性が得られていることがわかる。現段階では、数値計算上での初期状態を十分に組み込んでいないが、初期の負圧の状態も土壌パラメータとともに同定する等、今後いくつかの改善を行なう余地が残されている。しかし、このMarquardt法を用いて同定した場合、計算時間が短く、使用上の制約も少なく簡単に扱えることなどから、この方法は土壌水分特性曲線を求める上で、有効な手段の一つとなると考えられる。

謝辞: 本研究には科研費・一般研究(B)「フィルター分離AR法と量内実験によるパーシャル・コース・エリート概念の実証的研究」(58460168)代表 日野 幹雄)の補助により行なわれたことに付け、感謝の意を表します。

(参考文献) 1) 日野・瀧岡・尾高・佐藤: 初期水分量と流出率, 第29回水理講演会論文集 1985. 2

2) Garay, H.L., Haines, Y.Y. and PRasanata, Das: J. of Hydrology, Vol 30, 1976, pp 47-61

3) 谷 誠: 一次元鉛直不飽和浸透によって生じる水面上昇の特性, 日林誌, 64(11), pp. 409-418, 1982

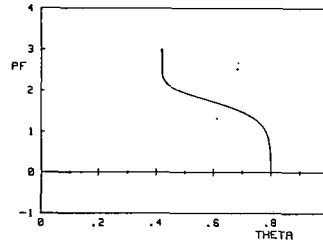
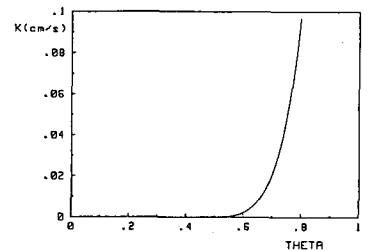
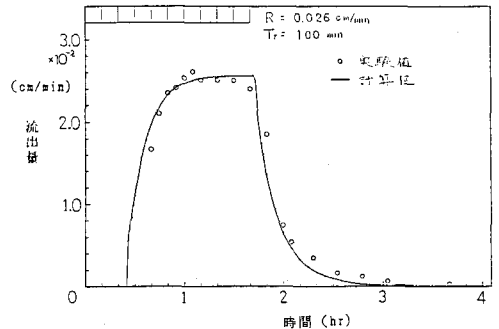
図2.(a) θ と ψ の関係図2.(b) θ と K の関係

図3.(a) 流出量の時間変化

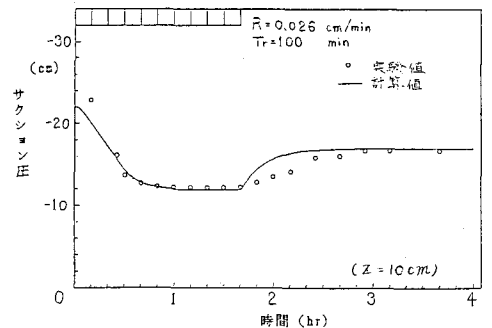


図3.(b) サクション圧の時間変化