

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○川合 良治
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

1. はじめに

急激な地球の気象変動に伴い、近年日本において局所的な短時間集中豪雨、いわゆるゲリラ豪雨の発生件数が増加し、それに起因する斜面崩壊などの災害の増加が懸念されている。それに伴い、ゲリラ豪雨に起因する斜面崩壊発生のメカニズムの解明がますます需要になっており、ゲリラ豪雨時における斜面内部への雨水浸透挙動の把握が必要不可欠となっている。これまで斜面不飽和領域における雨水浸透挙動は拡張型マルチタンクモデルを用いてモデル化されてきた。従来、そのパラメータ同定はニューラルネットワークを用いて行われてきたが、解析値と実測値との間には大きな差が見られた¹⁾。そこで本研究ではパラメータ同定をカルマンフィルタを用いて行い、さらにそのパラメータ同定手法の改良を行う。また、拡張型マルチタンクモデルに与えるパラメータの与え方を改良し、実斜面における体積含水率の実測値と解析値を比較することにより、その精度について検証する。

2. 拡張型マルチタンクモデル

(1) 拡張型マルチタンクモデルの概要

本研究では、不飽和領域における降雨の浸透挙動に関して以下に述べる2つの仮定条件に基づき構築された不飽和領域タンクモデル(図1)を用いる。対象とする斜面不飽和領域では鉛直方向の浸透流が卓越すると仮定し、底孔のみを有するタンクモデルを設定している。また、上部タンクからの浸透量に対しては、まず土粒子周りでの吸着が起り、限界状態に達した後下部タンクへの浸透が始まるものと仮定する。各タンクからの浸透量は以下の式(1)で表される。

$$Q_n = \beta_n \cdot (X_n - H_n) \quad (n=1 \sim 5) \quad (1)$$

ここで、 Q_n (mm)は浸透量、 β_n は浸透係数、 X_n (mm)は貯留高、 H_n (mm)は限界状態に達するまでの土粒子周りの吸着量を表す「立ち上がり」、添え字は各タンクの上部からの番号を表す。

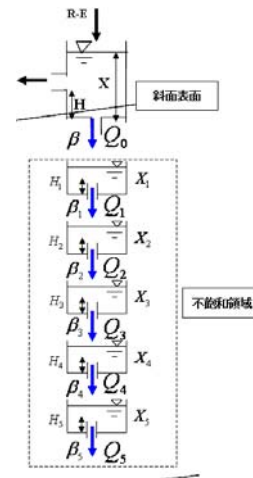


図1 タンクモデル

(2) パラメータ同定手法

<手法 1>

カルマンフィルタを用いて各タンクの浸透係数 β と立ち上がり H (mm)の組(以下「パラメータセット」)を数セット求め、そのパラメータセットを拡張型マルチタンクモデルに適用した計算値と実測値の誤差計算により最適パラメータを得る。

<手法 2>

ニューラルネットワークを用いてパラメータセットを数セット求め、手法1と同様に実測値と計算値との誤差計算により最適パラメータセットを得る。

<手法 3>

パラメータセットとして考えられる値を無作為に乱数で与え、手法1と同様に実測値と解析値との誤差計算により最適パラメータを得る。

3. 実斜面への適用

大津²⁾はゲリラ豪雨の降雨特性と熱帯性気候地域におけるスコールの降雨特性の類似性に着目し、平成19年9月よりカセサート大学(タイ)との共同プロジェクトとしてタイ・ナコンナヨックにおいて降雨量、表面流量、および体積含水率の現地計測を行ってきた。手法1、手法2、および手法3により求めた最適パラメータを拡張型マルチタンクモデルに適用した結果と実測値との比較を行い、例として2008年5月30日の降雨

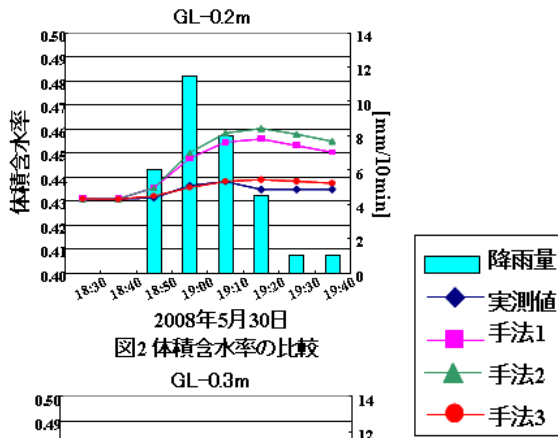


図2 体積含水率の比較

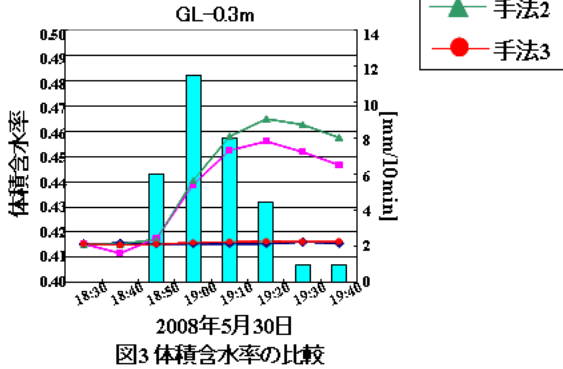


図3 体積含水率の比較

に対する実測値と解析値の比較を図2, 図3に示す。本来、カルマンフィルタ, またはニューラルネットワークを用いるには実測値をインプットデータとして用いて実測値に合うパラメータセットを絞り込むという利点があった。その絞り込みの精度が手法1と手法2の解析結果の精度と考えられる。しかしながら, その解析結果に大差がなく, かつ実測値との間に差が見られることから, 手法3を用いて計算を行った。その結果, 本研究で解析を行った14降雨すべてにおいて手法3による解析結果が最も実測値との誤差が少なく, かつ高い精度で実測値の体積含水率の変化を表現できた。手法3による解析結果と実測値との間に見られる差はパラメータ同定手法に起因するものではなく, 拡張型マルチタンクモデルのモデルそのものに起因するものと考えられるため, パラメータ同定手法としては手法3が最適と考えられ, 本研究でパラメータ同定手法の改良による解析精度の向上は達成できたと考えられる。

4. パラメータの時間的変化

従来, 拡張型マルチタンクモデルでは一降雨でパラメータは時間的に変化せず一定値を用いて雨水浸透挙動を表現しようとしてきた。しかしながら, 実際の浸透係数は下部タンクの状態によって変化するものと考えられるため, 手法3を用いて立ち上がりは一定値, 浸透係数のみを時間的に変化させて解析を行った。例として, 2008年7月30日の降雨に対するGL-0.2m,

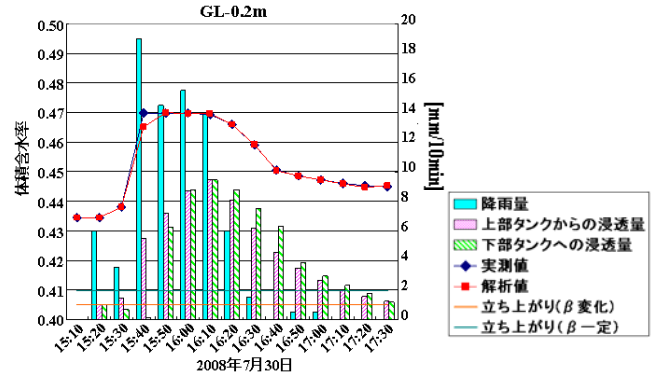


図4 体積含水率の比較

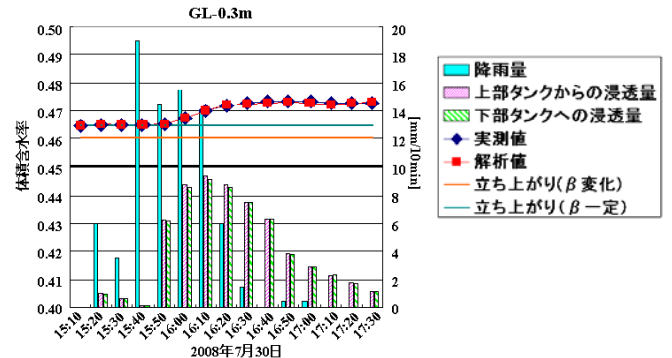


図5 体積含水率の比較

GL-0.3mの結果を図4, 図5に示す。浸透係数を時間的に変化させることで実測値と解析値がほぼ一致し, 非常に高精度で上部タンクからの浸透量と下部タンクへの浸透量をモデル化することが可能となっている。

5. まとめ

本研究により, 不飽和領域における拡張型マルチタンクモデルのパラメータ同定手法の精度向上が達成された。また, 浸透係数を時間的に変化させることにより, 極めて高い精度で雨水浸透挙動をモデル化することが可能となった。今後, 本手法による解析事例を増やすことにより, 降雨量だけでなく降雨強度や降雨波形等に起因する雨水浸透挙動の変化に対する一般的な知見が得られることが期待できる。それにより, 従来の降雨量のみに着目した日本の防災体制の改善につながると推察される。

参考文献

- 1)Hotta Yohei: Evaluation of Unsaturated Soil Slope Stability against Heavy Rainfall Using Modified Multi-Tank Model System, Master's thesis of Kyoto University, 2009.
- 2)大津宏康, 堀田洋平, 高橋健二, 中村一樹, 新村知也, 熱帯性豪雨(スコール)に起因する斜面降雨浸透に関する原位置モニタリング, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2009論文集, pp.1-6, 2009.