

1. はじめに

表層崩壊の発生はさまざまな要因が考えられるが、地形的な要因と時間的(降雨の強度、継続時間)要因が考えられる。崩壊発生の直接的な原因となる項目の一つとして、地下水位の上昇を挙げることができるが、これは地形的にも時間的にも影響を受ける項目である。斜面の安定性や表層崩壊の発生予測について、地下水位変動情報を提供しようとした場合、地下水位観測を詳細に行うという方法と、数値計算で予測を行うという方法が考えられる。実際の観測により土中水の挙動を把握することが最善の方法であるが、広域にわたりリアルタイムで観測を行うことは困難である。数値計算によって予測を行うことの問題点は、計算手法自体の不確かさが挙げられる。筆者は代表地点で地下水位実測を行い、数値計算により面的な解析を加えることで表層崩壊発生予測法を確立することを目指しているが、本報告では飽和不飽和浸透理論に基づいた数値計算によって、どの程度地下水位の変動が予測可能であるかについて、2, 3の知見と実際の流域での応用例を示すことができたのでこれを報告する。

また本報告は平成8年度の砂防学会大会発表での同一の筆者による発表を、数値計算上の不確かさについての議論を進展させ再構築したものであることを付記する。

2.1 数値計算の方法と計算空間刻み設定の指標

土中の水移動は Richards 式に従うものとして、コントロールボリューム法+修正 Picard 法(Celia ほか(1990))+完全陰解法+上流法(上流法は長期浸透流解析モデル(江上(1995))を簡略化したものである)によって計算した。実流域への適用に先立って、浸透数値計算上、どの程度の空間刻みや計算法を選択すると計算値の振動等重大な誤差が発生するか、または誤差が無視できる範囲になるかについての指標を作成した。紙面の都合上詳細は省略するが、2次元実験斜面に降雨を入力したときに計算される地下水位が空間刻みの大小によりどのような計算誤差が生じるかを、斜面形状を無次元化して解析した。最大地下水位発生時刻、最大地下水位、地下水位分布形等の計算値から判断した結果、空間刻みに鉛直方向に $0.8(-\psi_m)$ 、斜面方向に $8.0(-\psi_m)$ (ψ_m は土壌の保水性を決定するパラメーターで、有効飽和度が 0.5 に相当する圧力水頭)を採用することで、細かい数値空間刻みを用いた計算結果を妥当と思われる範囲で再現することが可能であることがわかった。

2.2 実測データの計測と計算への導入

数値計算は現場で測定された情報を用いて行う。地形の形状および土壌深度分布は測量および簡易貫入試験を行って実測した。土壌の保水性は隣接する流域から9個の 100cc サンプルを用いて測定(前田(1995))し、この平均値を LN モデル(Kosugi(1994))に当てはめた。透水性は飽和透水係数のみ測定し、不飽和透水係数は Mualem のモデル(Mualem(1976))で代用した。

3.1 計算対象流域の紹介と観測項目

対象流域は東京大学農学部附属愛知演習林白坂流域内南谷小流域谷頭部(0.45ha)である。地質は風化花崗岩である。植生は、アカマツ、ヒノキ、コナラ、カシ等の混交林で、樹冠はほぼ閉鎖している。流域の地形を図1に示す。平均土壌深は 1.32m であった。流域内では流量(図1の ▼点)、地下水位が3箇所(図1の点 W、点 A、点 B)観測されている。地下水位計は点 W は河道上にあり、点 A 点 B の順で斜面下方から上方に設置している。降水量は 300 mm ほど離れた露場で観測している。観測された土壌の保水性と数値計算に用いた LN モデル関数を図2に示す。100cc サンプルより測定された飽和透水係数の平均値は 0.0023cm/秒であり、この値を数値計算で用いた。

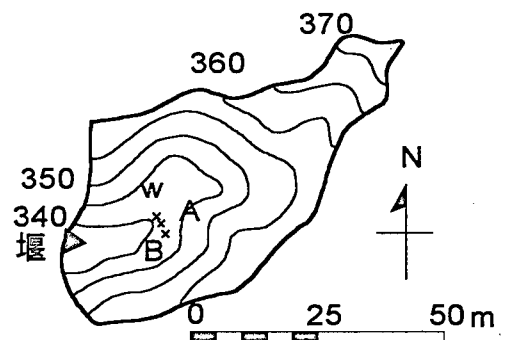


図1 計算対象流域(南谷谷頭部)の地形図および観測井・堰の位置

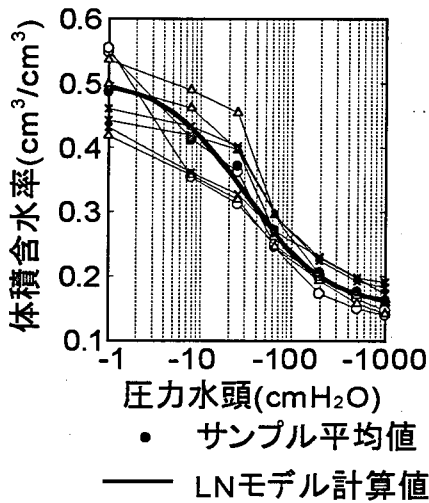


図2 土壌の保水性観測値とLNモデル

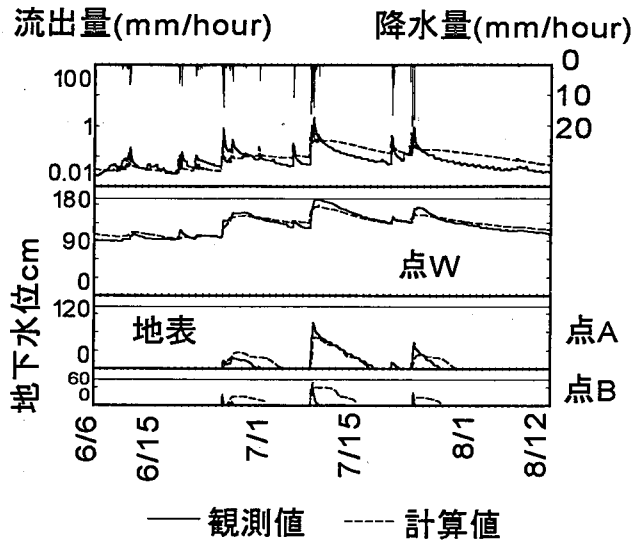


図3 流出量および地下水位変動計算値

3.2 計算諸条件

ψ_m が $-30.0\text{cmH}_2\text{O}$ で、平均土壌深が 1.32m であったことから、計算空間刻みは水平方向に 2.5m 、鉛直方向には測定された土壌深を一律5分割することとした。

実流域での長期浸透計算を行う場合蒸発散による損失を考慮しなければならない。本報告ではこの項目はごく単純なモデルで代用した。山体への深部浸透は考慮しなかった。

計算初期条件は1996年1月1日0時の圧力水頭分布を一定として与え、1年間の連続計算を行った。

4. 計算結果

計算期間を通じて、数値的な振動や水収支誤差は発生しなかった。

図3に比較的降雨量の多かった6月6日より8月12日までの流量、地下水位の観測値を計算値を示す。測定されたデータのみによる、パラメトリックな要素を排除した方法であるが、各測定値を精度良く再現計算できていることが読み取れる。地下水位の変動に関して言えば、河道上では常に地下水位が存在するが、斜面上部では降雨の条件によって地下水位が発生、消滅することが再現されている。また時間的な変化や降雨に対する最大地下水位計算値についても、実測の情報を精度良く再現していることが読み取れる。

5. まとめ

本報告で紹介した浸透数値計算手法、空間刻みの設定法を採用することで、現場で測定された情報から流域内複数点の地下水位変動を降雨のみの入力により再現できることがわかった。数値計算は長期にわたって安定して連続計算することが可能で、解析対象となる降雨に対して土壌水分状態の初期条件を設定する問題を回避できる。ただし本手法の確立のため、他流域での適用例を蓄積する必要があるものと思われる。

参考文献

- Celia, M.A., E.T. Bouloutas, and R.L. Zarba (1990): A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation, *Water Resour. Res.*, 26, pp.1483-1496
- 江上 泰 (1995): 三重大学演習林における寡雨年夏期の蒸発量の減少要因、三重大学修士論文、pp.32-44
- Kosugi, K. (1994): Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention, *Water Resour. Res.*, 30, pp.891-901
- 前田富弘 (1995): 林地斜面における土壌水分変動特性と流出応答、名古屋大学農学部林学科卒業論文
- Muallem, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resour. Res.*, 12, pp.513-522