

表土層内の飽和度変化を考慮した集水モデルによる実測地下水位の再現性

神戸大学都市安全研究センター 沖村 孝
 神戸大学都市安全研究センター 鳥居 宣之
 神戸大学大学院自然科学研究科 沖川 良太
 神戸大学大学院自然科学研究科 ○前田 佳代

1. はじめに

毎年、豪雨時に全国各地で発生する山腹表層崩壊を予知・予測するために多くの研究が行われており、近年では不飽和・飽和浸透解析結果を反映させた斜面安定のモデルも提案されている。しかし、一般的には解析が複雑になるほどパラメータ数は増加し、その設定が困難となる。著者ら¹⁾は、降雨の鉛直不飽和浸透過程を簡略化した形で表現できる新たな集水モデルを提案した¹⁾。このモデルでは、初期飽和度や透水係数といった解析パラメータが解析結果に大きく影響を及ぼすことから、これらの値の妥当性を十分に吟味する必要がある。そこで本報では、実際に土壤水分および地下水水位が観測されている対象地において解析を行い、観測された土壤水分から解析上の初期飽和度を推定する。そして、得られた初期飽和度を用いて実測水位を再現することを試みる。

2. 集水モデルの概要

著者ら¹⁾が提案したモデルの基本要素を図-1に示す。このモデルは地表面を一辺 L の正方形に分割した表土層厚 D のブロック要素において、飽和側方流入 Q_{in} および飽和側方流出 Q_{out} を沖村らの集水モデル²⁾で、鉛直不飽和過程として降雨の流入 Q_r と水位増加分 h を寺本³⁾らの土層の平均飽和度を用いたモデルによって評価する。また、降雨の鉛直浸透実験³⁾により求めた飽和度-地下水深関係を不飽和領域に限定して用いており、飽和側方流と降雨の流入によって算定された不飽和領域の体積含水率が、ある限界飽和度以上の時に降雨は地下水面の涵養に寄与するものとしている。

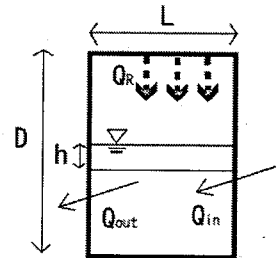


図-1 集水モデルの要素

3. 研究対象地の概要

水位観測の対象地として図-2に示す神戸市須磨区の一角にある高倉山を選定した。高倉山では、2001年8月30日～2003年8月22日までGL-1.5mにおいて10分間隔で水位観測が行われており⁴⁾、簡易貫入試験結果から $N_c=30$ 以下を表土層厚として補間することで図-3に示す分布を求めた。また、土壤水分は隣接する神戸市離宮西の山腹斜面において計測されている⁴⁾。

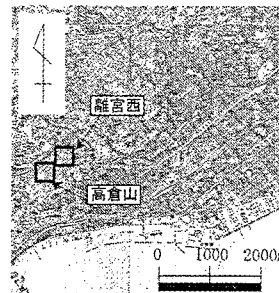


図-2 高倉山の位置図

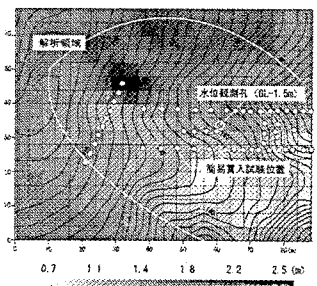


図-3 高倉山の表土層厚分布

4. 降雨波形とピーク水位の関係

高倉山で個々の降雨イベント時の水位を検討するために、日雨量10mm以上で、降雨の前後24時間無降雨状態になるものを一連の降雨として降雨イベントを抽出した。図-4に各降雨イベント時の総降雨量、最大時間降雨強度、平均時間降雨強度と水位の関係を示す。

総雨量が大きくなるにつれてピーク水位が高くなる傾向はあるが、ばらつきは大きい(図-4(a))。また、最大時間雨量と平均時間降雨強度では、総雨量に比べさらに相関性の低いことがわかる(図-4(b), 図-4(c))。そこで、離宮西で得られている土壤水分計の計測結果から、降雨前の土壤雨量指標として、各降雨イベント直前の体積含水率を抽出し、総雨量と比較した(図-5)。その結果、水位の発生条件に初期条件と総雨量が大きく関係しており、その境界をある程度定義できることがわかった。

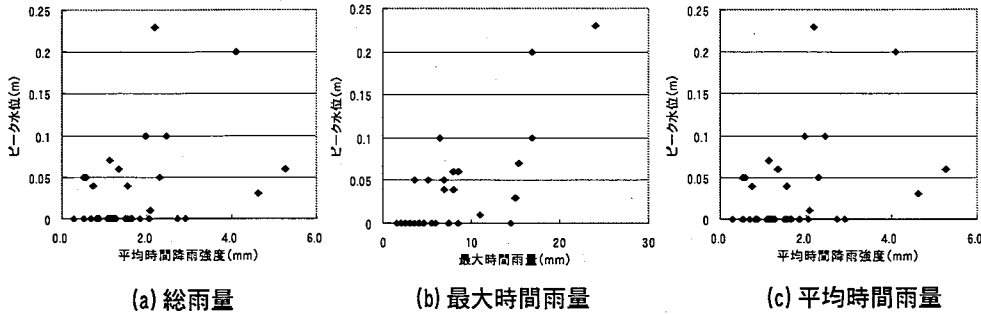


図-4 降雨波形とピーク水位の関係

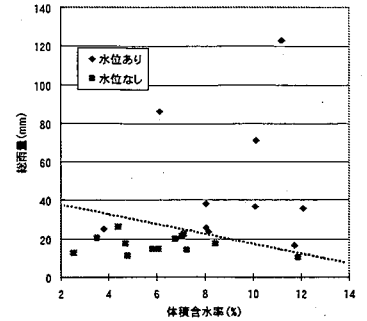


図-5 水位の発生条件

5. 観測結果を用いた初期飽和度の推定

観測孔を含むセルに水位が発生する限界の初期飽和度を降雨イベント毎に求め、水位の発生境界と観測結果から得られた発生境界を比較することによって、土壌水分の観測値と解析に用いる初期飽和度の関係を求めた。表-1に解析に用いたパラメータを示す。また、

図-6に観測結果から得られた水位の発生境界を、図-7に解析結果から得られた水位の発生境界を示す。図-7より、初期飽和度と総雨量によって、図-6のように発生境界を定義することができる。各図に示す近似直線式から、

$$S_{eo} = 0.0089\theta + 0.62 \quad (1)$$

ここに、 S_{eo} ：解析上の初期有効飽和度 (%), θ ：観測された体積含水率 (%)

6. 観測結果と実測値の比較

水位の確認された降雨イベントに対し、表-1に示すパラメータ及び(1)式によって求まる初期飽和度を用いて解析を行った結果の一例を図-8に示す。また、解析結果と実測値による最大水位の比較を図-9に示す。図-8, 9より、やや実測水位より大きな値となるものの、いずれも比較的良く実測水位を再現できるものとなった。

以上の結果から、観測された土壌水分を用いて解析上の初期飽和度を推定できることが明らかとなった。しかし、両者の関係を用いるためには時々刻々と変化する土壌水分を知る必要があるため、本手法を用いるには土壌水分計などにより降雨開始時における土層の体積含水率が既知である場合か、またはこれを推測する別の手法を確立している場合に限定される。今後は、この推測手法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 沖村孝・鳥居宣之・沖川良太・前田佳代：表土層内の飽和度変化を考慮した集水モデルによる崩壊予測，砂防学会研究発表会概要集，pp. 296-297, 2003.
- 2) 沖村孝・市川龍平・藤井郁也：表土層内浸透水の集水モデルを用いた花崗岩表層崩壊発生位置の予知のための手法，新砂防，Vol. 37, No. 5, pp. 4-13, 1985.
- 3) 寺本和子・鈴木立実・成瀬隆弘・松山裕幸・平松晋也：飽和度変化に伴う地下水深の消長を考慮した雨水流動モデルの現地流域への適用について，新砂防，Vol. 47, No. 6, pp. 15-23, 1995.
- 4) (株)ダイヤコンサルタント：兵庫県神戸市須磨区西須磨字高倉山現地調査報告書，2003.

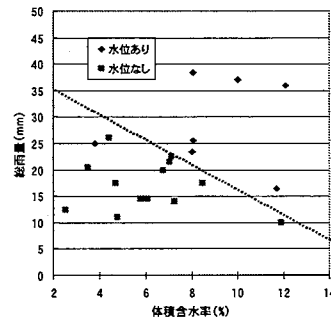


図-6 水位の発生境界
(観測結果)

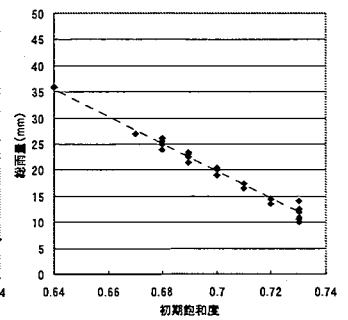


図-7 水位の発生条件
(解析結果)

表-1 解析パラメータ

飽和透水係数 k (cm/s)	0.1
飽和体積含水率 θ_s	0.4
最小体積含水率 θ_r	0.05
限界有効飽和度 S_{ec}	0.78
メッシュ間隔 (m)	4
時間ステップ (min)	1

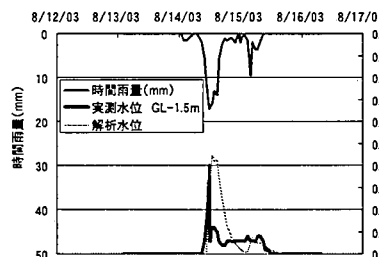


図-8 解析結果の一例

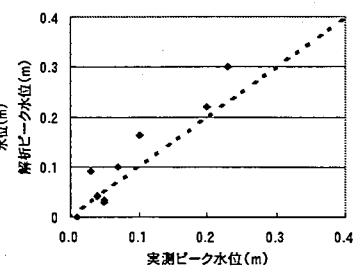


図-9 最大水位の比較