

## 深層崩壊の発生予測に資する雨量指標の評価および改良に関する研究

京都大学大学院農学研究科  
紀伊山地砂防事務所

○千野佑輝、小杉賢一朗  
吉村元吾、今森直紀、田中健貴

### 1. 研究背景

近年、豪雨による土砂災害が多発し、各地で甚大な被害が報告されている。特に深層崩壊と呼ばれる現象は、大規模かつ広範囲に及ぶ災害となりうるために、適切な避難を促すなどのソフト対策が重要となる。本研究では、この深層崩壊と密接に関わると考えられる地下水位に着目し、雨量データを用いて地下水位の変動を再現することで、深層崩壊の発生予測につながる解析手法を検討することを目的とした。特に、2つの雨量指標を組み合わせたスネーク曲線の挙動と地下水位変動との対応を明らかにすることで、スネーク曲線を用いた危険予測の可能性について検討をすることとした。

### 2. 方法

#### 2.1 観測データ

2011年9月の台風12号により紀伊山地で深層崩壊が多発した。災害以降、崩壊の生じたいくつかの地域でデータ観測が行われており、本研究ではその中から、赤谷、長殿、北股、清水、栗平地区の崩壊斜面付近で観測されている雨量およびボーリング孔の地下水位データを使用した。データは主に2015~2016年に観測された1時間単位のもので、以降の最適化計算は1年間分のデータに対し行ったものである。

#### 2.2 雨量指標の評価

縦軸に降雨強度の指標、横軸に積算雨量の指標を設定して作成するスネーク曲線の各プロットの位置関係に着目し、地下水位が高く危険と判断される時刻のプロットが相対的に右上にあるとき、指標と地下水位との対応が良いと判断することにした。任意期間におけるすべてのプロットについて、スネーク曲線上の位置と地下水位との相互比較を行い、先の判断に準じているものを○、反しているものを×と評価した(図1、説明参照)。縦軸・横軸の指標のパラメータを変化させながら比較を繰り返し、この○評価の比率 $\alpha$ の値が大きいときの指標の組み合わせが最適であるとして評価する手法を検討した。

#### 2.3 雨量指標の改良

スネーク曲線を作成するにあたり、まずは短半減期実効雨量を縦軸、長半減期実効雨量を横軸とする従来通りの方法を採用した。これを後の比較のために“並列モデル”と呼ぶことにする(図2)。なお、今回はモデルの検討をしやすくするため、パラメータとして一般的に用いられる半減期(h)ではなく、実効雨量タンクの流出孔の大きさを表すパラメータ $b$ ( $0 \leq b \leq 1$ )を使用して計算を行った。

これに加え、降雨に対する地下水位変動の遅れを考慮するために、2つの実効雨量タンクを直列につないだ2段タンクについて検討を行った。これは、1段目のタンクからの流出が2段目への入力となる形である。このときの1段目の貯留量を降雨強度の指標、2段目の貯留量を積算雨量の指標としてスネーク曲線を作成するモデルを考案した。これを“直列モデル”と呼ぶことにする(図3)。これら2つモデルについて2.2の方法でパラメータの最適化を行い、作成されたスネーク曲線の軌道や実際の地下水位変動との関係について比較・考察等を行った。

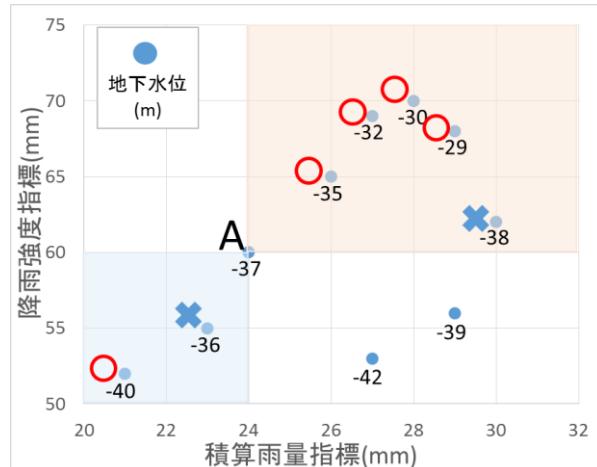


図1 指標評価の例

【方法】例えば、A点を基準としたとき、「右上かつ地下水位が高いプロット」または「左下かつ地下水位が低いプロット」を○、そうでないものを×とする(左上と右下は評価の対象外)。すべてのプロットを基準としたときの評価を総計し、

$\alpha = (\text{○の数}) / (\text{○と×の数の合計})$ によって、○評価の比率 $\alpha$ を出した。

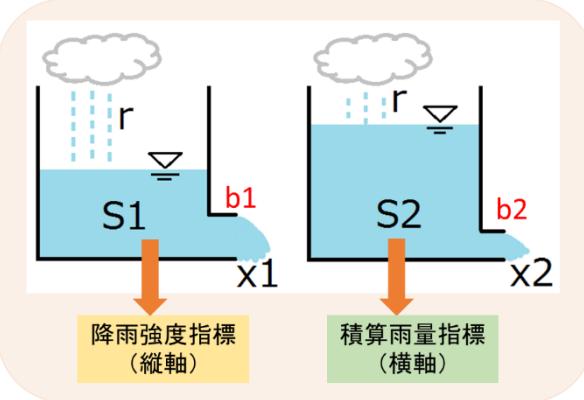


図2 並列モデル

S:貯留量、r:雨量、x:流出量  
b:流出孔の大きさを表すパラメータ

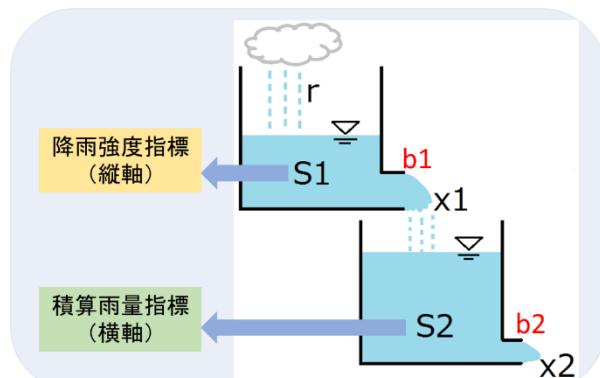


図3 直列モデル  
(文字記号は図2と同じ)

### 3. 結果と考察

各地点で雨量指標の評価を行ったところ、並列モデル・直列モデルとともに、スネーク曲線上の各プロットの相対的な位置関係と地下水位との対応が最も良くなるような、縦軸・横軸のパラメータの最適値が存在することがわかった(図4)。最適化された指標でスネーク曲線を作成すると、並列モデルでは降雨イベント時に右上に向かって鋭くなるような軌道(図5)、直列モデルでは三角形状の軌道(図6)をとることがわかった。直列モデルにおいては、降雨強度のピークと積算雨量のピークに時間差が生じるため、このような軌道をとると考えられる。視覚的には並列モデルの方が右上にある地下水位の高いプロットを判断しやすく、図5の北股W1のように地下水位変動と良く対応している例も多く見られた。しかし、無降雨時も含めた全体的な地下水位との対応( $\alpha$ の値)は、すべての地点で直列モデルの方が良いという結果になった。

直列モデルの特徴として、降雨が止むないし弱まるなどして、1段目のタンクの貯留量が減少に転じた後も2段目の貯留量はしばらく増え続ける期間があることが挙げられ、これは図6のスネーク曲線における※印の部分のような、右下へ向かう軌道で表される。降雨に対して実際の地下水位が遅れて上昇する場合を考えると、並列モデルではその遅れを十分に再現できないと考えられるのに対し、直列モデルにおいては、この※の軌道によって遅れを再現でき、全体的な地下水位との対応が良くなったものと考えられる。

図6に挙げた北股W10地点について、大規模降雨時の地下水位と、スネーク曲線を構成する各プロットのそれ自身より右上に存在するプロットの数との時間変化を表したのが図7である(すなわち右上にプロットが存在しないプロット程危険と判断される)。並列モデルから判断されるピークと地下水位のピークの時刻が大きくずれているのに対し、直列モデルのスネーク曲線における右上にプロットが存在しない期間(これは先ほどの※期間に相当する)に、地下水位のピークが現れていることがわかる。すなわち、大規模降雨時に、直列モデルのスネーク曲線におけるこの※期間を危険な期間として判断することにより、遅れて上昇する地下水位を評価の対象に含めることができると考えられる。

実際に直列モデルを活用して危険評価を行う場合、リアルタイムのプロットについて、それよりも右上に既往プロットがなくなった(既往最大を超えた)時点から、降雨強度のピークを経て積算雨量のピークが終わるまでの間を、警戒・避難が必要な期間の目安とすることによって、崩壊発生に対してより柔軟に備えることができるのではないかと考えられる。しかし、直列モデルが有効であることを示す計算例はまだ十分ではなく、今後はより一般化した議論をする必要がある。また、モデルやパラメータの選定方法等についても追及をし、より実用面を意識した検討をしていくことを課題として挙げたい。

#### (参考文献)

- 1) 小杉 (2014)「斜面崩壊の誘因となった降雨の評価手法」,砂防学会誌, Vol.67, No.5, p.12-23
- 2) 小杉ら (2013)「山体基岩内部の地下水位変動を解析するための実効雨量に基づく関数モデル」, 砂防学会誌, Vol.66, No.4, p.21-32
- 3) Keith J. Beven (2004) 「Rainfall-Runoff Modelling」 John Wiley & Sons

図7 地下水位と各モデルのピークとの時間変化  
(北股 W10, 2015)

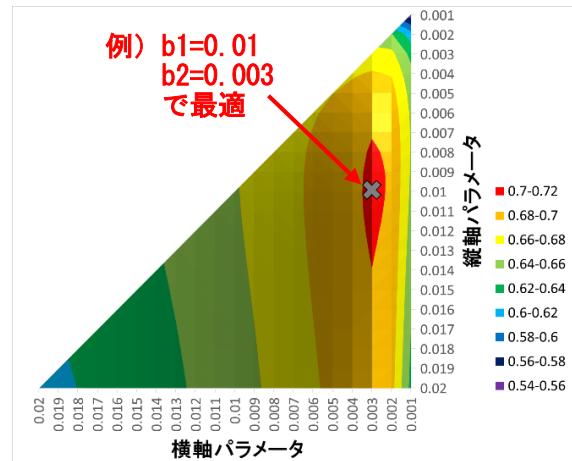


図4 並列・ $\alpha$ の等価図 (北股 W1, 2015)

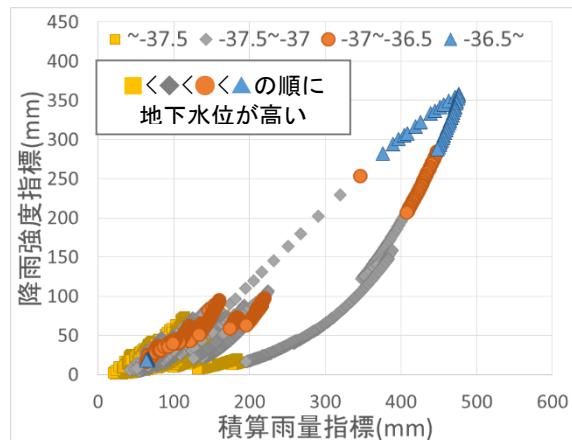


図5 並列・スネーク (北股 W1, 2015)

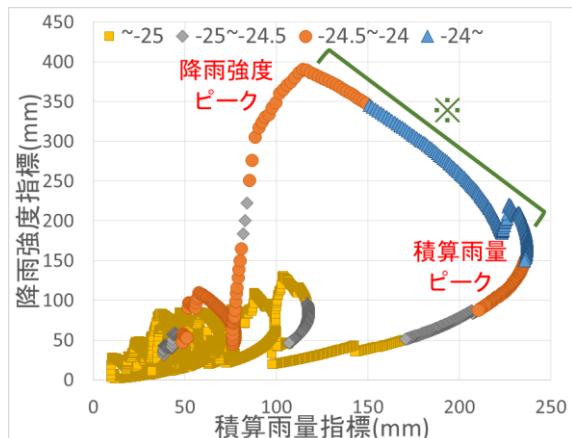


図6 直列・スネーク (北股 W10, 2015)

