

基岩地下水位変動に着目した深層崩壊の発生予測に資する雨量指標の検討

京都大学大学院農学研究科 ○千野佑輝，小杉賢一朗
紀伊山系砂防事務所 吉村元吾，菅原寛明，田中健貴

1. 研究背景

土砂災害の発生予測には、実効雨量や土壌雨量指数といった雨量指標が用いられることが多い。これらの指標は降雨が土壌に浸透する過程を簡易的に再現したモデルが元となっており、かけ崩れや土石流などの土壌表層部の崩壊に由来する災害を前提として用いられるのが一般的だが、近年多発している深層崩壊への適用性に関しては十分な検討がなされていない。そこで本研究では、雨量指標を用いた深層崩壊の発生予測手法を提案することを最終的な目的とし、今回はその前段階として、深層崩壊の発生と関連の深いとされる基岩地下水位の変動と雨量指標の相関をみることによって、雨量指標の有用性に関して検討をすることにした。

2. 方法

2.1 観測データおよび指標

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、崩壊地各所でボーリング孔が掘削され地下水位等の観測が行われており、今回はその中から、栗平(2014/8～2017/11, 4地点)、坪内(2014/1～2017/11, 9地点)、那智(2015/3～2017/11, 10地点)の3地区で観測された雨量および地下水位データを使用した。雨量指標は、実効雨量(半減期 1.5h, 24h, 72h, 120h, 240h, 480h, 720hの7通り)、積算雨量(積算時間 5h, 24h, 48h, 72h, 120h, 240h, 480h, 720hの8通り)、そして直列3段タンクモデルから計算する土壌雨量指数(3段の合計貯留量に加え、各段の貯留量を1つの指標とした計4通り、パラメータは現行のもの同様、Ishihara & Kobatake (1979) に従う)を用いた。

2.2 評価方法

地下水位変動の中でも特に降雨イベント時の挙動と雨量指標との対応を見るために、観測データの中から総雨量10mm以上かつ地下水位上昇量0.5m以上の降雨イベントを機械的に抽出し、各イベントにおける地下水位と雨量指標の“ピークの高さ”と“ピークのタイミング”という2つの観点から評価を行った。ピークの高さに関しては、両者のピーク値の順位相関をNash-Sutcliffe efficiency factor(NSEF値)を用いて評価した。ピークのタイミングに関しては地下水位ピーク時刻から実効雨量ピーク時刻を引いた値(ピークラグ)を計算することにより、その現れ方の傾向を考察した。

3. 結果と考察

3.1 ピーク値の順位相関

図1は3地区23地点の観測データに対し、各指標でNSEF値を計算した結果である。実効雨量では半減期72～240hあたりでNSEF値が大きい傾向が見られる。積算雨量では、NSEF値の最大値は積算時間72hあたりで頭打ちになっているが、全体的に積算時間が大きいほど、ばらつきが少なく相関が高い傾向にある。また、土壌雨量指数に関しては、実効雨量と積算雨量の最適値より若干相関が劣っているが、各段の貯留量をみると、下段になるほどNSEF値が大きくなる傾向にあることがわかる。これまで実効雨量では半減期1.5h, 72h, 積算雨量では積算時間24hが多用されてきたが、ボーリング孔内の地下

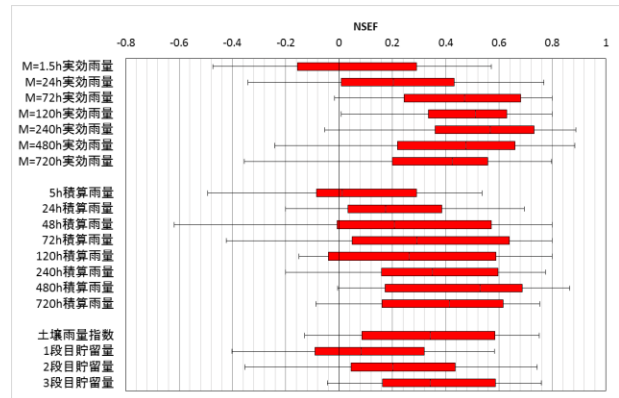


図1 各指標で計算したNSEF値(3地区23地点)

NSEF値は1に近いほど相関が高い

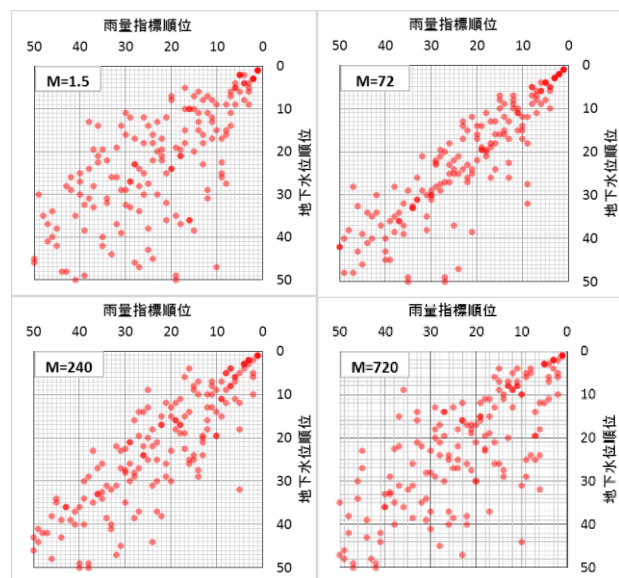


図2 指標順位 vs 地下水位順位(栗平4地点)

水位との対応という観点からは、より長期的な雨量指標のほうが対応は良くなるものと考えられる。また、実効雨量や積算雨量に比べ、パラメータを多く設定する土壌雨量指数との相関が予想に反して高いことから、従来通りのパラメータでは地下水位変動の再現に不十分であること、パラメータを最適化する必要があることが示唆される。

図2は比較的傾向がきれいに現れた栗平4地点について、実効雨量を用いたときの順位相関を散布図で表したものである。極端にパラメータが小さい(M=1.5)もしくは大きい(M=720)と全体的にばらつきが目立つが、パラメータを最適化することで相関が良くなる様子がわかる。しかし、パラメータを変えることで順位関係が変わっているのは主に下位のプロット、すなわち中小規模の降雨イベントである。災害予測という観点からは大規模降雨イベント時の地下水位変動を的確に再現する指標が求められ、それが必ずしも地下水位変動全体との相関が良い指標であるとは限らないと考えられる。今後さらに実用的な考察をするには、大規模降雨イベントに重点を置くことを検討する必要がある。

3.2 ピークラグの傾向

例として栗平4地点について、半減期120h実効雨量のピーク値とピークラグの関係を図3に示した。ピーク値の小さい中小規模の降雨イベントではピークラグが大きい（地下水位ピークが遅い）イベントも多くばらつきが目立つのに対し、大規模降雨イベントになるほどピークラグが0に近づいている様子がわかる。すなわち、降雨イベントの規模によってピークラグの現れ方が異なり、特に大規模降雨イベントになるほど地下水位のピークは早く現れる傾向にあるといえる。

大規模降雨イベントに着目してみる。観測期間中の2015年7月に3地区とも総雨量400mmを超える大きな降雨イベントが観測された。この大規模降雨イベントにおける各指標に対するピークラグを図4に示した（積算雨量に関しては土壌中の貯留量を再現するタンクモデルではないため、タイミングに関する議論では省略してある）。長期的な指標を用いるとピークラグがマイナスになる例も多く、改めて大規模降雨イベント時の地下水位応答が早い様子が伺える。逆にピークラグがプラスになる場合に対して、実効雨量の半減期を大きくすることで多少ピークラグは小さくなるが、半減期120hあたりからはほぼ変化がないことがわかる。一方、土壌雨量指数の各段の貯留量をみると、下段にいくほどピークラグがマイナス側へ大きく移行しているのがわかる。直列のタンクモデルという構造が降雨応答の遅れを再現しているものと考えられる。

栗平地区を例に実際の波形を見てみる。15日夜から降り始めた一連の雨は16日の夜中にピークを迎えて2日間以上にわたり降り続いた。地下水位のピークは、早い地点では降雨のピークから数時間後に現れており、M=24h実効雨量や土壌雨量指数のピーク時刻がそれに近い。遅い地点では一連の降雨イベントが終わった頃に地下水位ピークを迎えているが、これは各半減期の実効雨量ピークよりも遅く、3段目タンク貯留量のピークよりは早い。

実効雨量の波形は半減期が大きくなるほど指標の減少速度が遅くなる様子が顕著に現れている一方、ピークのタイミングはあくまで降雨の有無へ依存しており、特に地下水位ピークの遅れを再現するには限界があると考えられる。また、半減期を大きくしすぎるとその後の2次降雨、3次降雨の過大評価につながる可能性があり、むやみに半減期を大きくすることは思わぬ判断ミスを引きかねない。それに対し、土壌雨量指数に代表されるような直列タンクモデルはピークのタイミングに関しては非常に融通の効く指標であることが考えられる一方、図5のようにタイミングを大きく違えてしまう可能性も考慮しなければならない。また構造が複雑になるゆえにパラメータの設定が困難であることも課題である。

4. まとめ

地下水位変動との対応について、ピークの高さの観点からは比較的長期的な雨量指標が適することが示された一方、ピークのタイミングに関しては降雨イベントの規模や観測地点によって傾向が異なるために、一概にこの指標が良いとはいえず、また各指標のピークタイミングに関してもその精度に限界があることが示唆された。ピークの高さの精度を損なわずに、どこまでのピークタイミングの再現が可能であるかを把握することが重要である。土壌雨量指数のようにパラメータを多く持つ指標では、最適化をすることで程度の改善は見込めるが、指標の複雑化を招き、あまり得策とはいえない。本研究のように指標と地下水位変動の傾向を把握し、それら

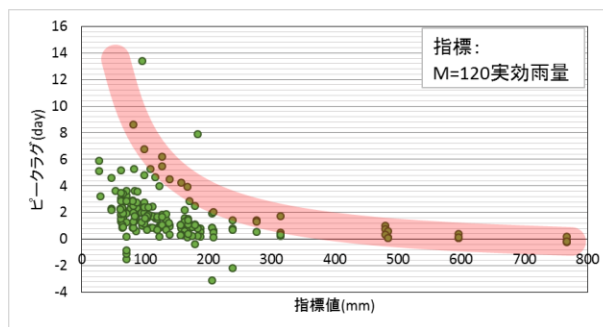


図3 指標ピーク値 vs ピークラグ（栗平4地点）

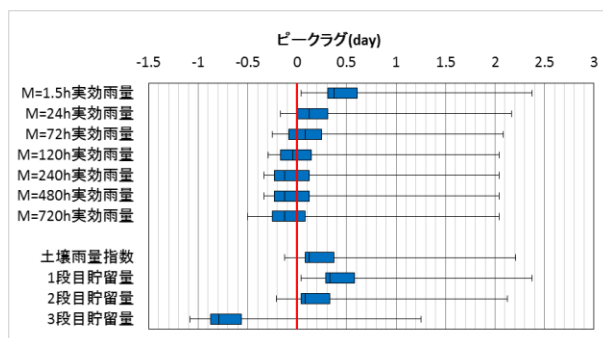


図4 各指標で計算したピークラグ
(3地区23地点, 2015/7イベント)

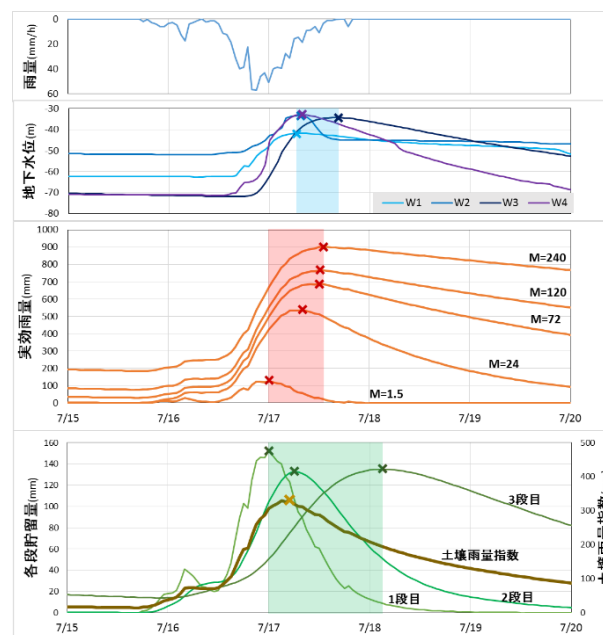


図5 2015/7イベント（栗平4地点）

を包括的に判断できるような方法を考えるのが有効と考える。例えば、ピークのタイミングに対して、どれだけの誤差が現れるのかを事前に把握できていれば、必ずしも完璧に再現できる必要は無いだろう。今後は災害予測という観点からより実用的な提案ができるよう研究を進めていく予定である。

（参考文献）

- 1) 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, Vol66, No.4, p.21-32
- 2) Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979) 「Runoff Model for Flood Forecasting」, Bull.D.P.R.I, Kyoto Univ., 29(1), 27-43