

深層崩壊の誘因となる山体地下水挙動の解析

京都大学大学院農学研究科
同上
六甲砂防事務所
鹿児島大学農学部
信州大学農学部
四国山地砂防事務所

○小杉 賢一朗（兼 JST）、藤本 将光
山川 陽祐、三道 義己、水山 高久
木下 篤彦
下川 悦郎、地頭菌 隆
平松 晋也、福山 泰治郎
桜井 亘、鷲尾 洋一、藤本 章次

1. はじめに

豪雨に伴う土砂災害発生危険度を評価する降雨指標として、実効雨量が頻繁に使用されている。中でも一般的に用いられるのは、先行雨量の影響を評価するための「長期的な降雨指標」としての半減期 72 h の実効雨量と、降雨強度の影響を評価するための「短期的な降雨指標」としての半減期 1.5 h の実効雨量を組合わせ、急傾斜地の崩壊や土石流の発生危険度を評価する手法である。

本研究では、このような実効雨量が、深層崩壊発生危険度の推定においても有効な指標となるのかについて検討することを目的とした。はじめに、実効雨量を用いた基岩内地下水位変動予測手法について簡便なモデルを提案する。その上で、実効雨量を深層崩壊予測に応用する場合にどのような半減期を用いれば良いのかについて、定量的な解析を加える。

2. 解析に用いたデータと手法

解析の対象としたのは、凝灰角礫岩・安山岩溶岩を母材とする鹿児島県針原川流域、花崗岩の母材を有する兵庫県六甲山の稜線ならびに山麓の流域、泥質片岩・珪質片岩・塩基性片岩を母材とする高知県朝谷川流域、花崗閃緑岩を母材とする長野県与田切川流域、において観測された降雨と基岩内地下水位変動データである。各流域とも調査ボーリング孔（深度 17～105 m）の水位が連続計測されており、ここでは観測期間中の多雨年を抽出し、1 年間の水位変動を解析した。

3. 実効雨量を用いた基岩内地下水位変動のモデル化

実効雨量を用いた崩壊発生危険度評価においては、横軸 X に長期的な雨量指標（半減期が長い実効雨量）、縦軸 Y に短期的な雨量指標（半減期が短い実効雨量）をプロットしたスネーク曲線が使用され、プロットが危険ラインを越えた場合に崩壊が発生するとの判断が下される。これは、地下水位 H が次の関係式で表せるとの仮定に基づくものと考えることができる。

$$H = aX + bY + c \tag{1}$$

そこで、観測された基岩内地下水位 H の変動を最も良く再現できるように、(1)において X, Y の半減期の値 (M_X, M_Y) と、パラメータ a, b, c を最適化した。ただし、降雨と基岩内地下水位の反応には、風化基岩層内の雨水の鉛直浸透等に伴うタイムラグが生ずることがあるため、(1)式に代入する X, Y それぞれに D_X, D_Y の時間遅れを仮定し、 D_X, D_Y についても最適化を行った。

4. 結果

図-1 下は、六甲山稜線流域の下流部にある調査ボーリング孔で観測された、基岩内地下水位変動である。降雨のピークに対応した鋭敏な変動を示すと共に、地下水位のベースとなるラインが夏期にピークとなる緩やかな変動を示している。図-1 上には、半減期 72 h および 1.5 h の実効雨量を示した。半減期 1.5 h の実効雨量は、時間雨量と同様の波形を示している。一方、半減期 72 h の実効雨量は降雨後の逓減が緩やかであり、降雨イベントに対応した基岩内地下水位の増加・逓減の波形と似た傾向を示している。

半減期 72 h の実効雨量を横軸に、半減期 1.5 h の実効雨量を縦軸に取ったスネーク曲線の各プロットを、その時刻の基岩内地下水位の値によって塗り分けたものが図-2 左である。縦軸方向に見た場合、プロットの塗

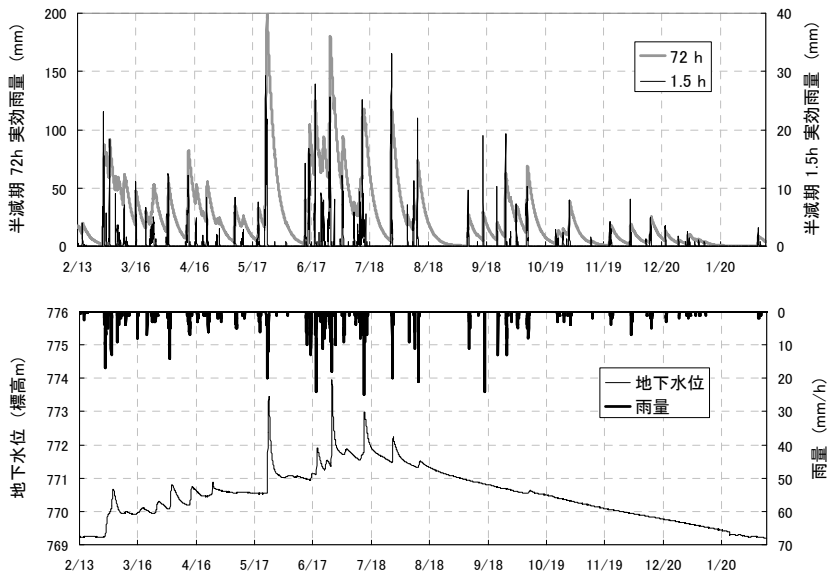


図-1 西おたふく山流域における（上）半減期 72h および 1.5h の実効雨量と（下）ハイトグラフおよび基岩内地下水位変動

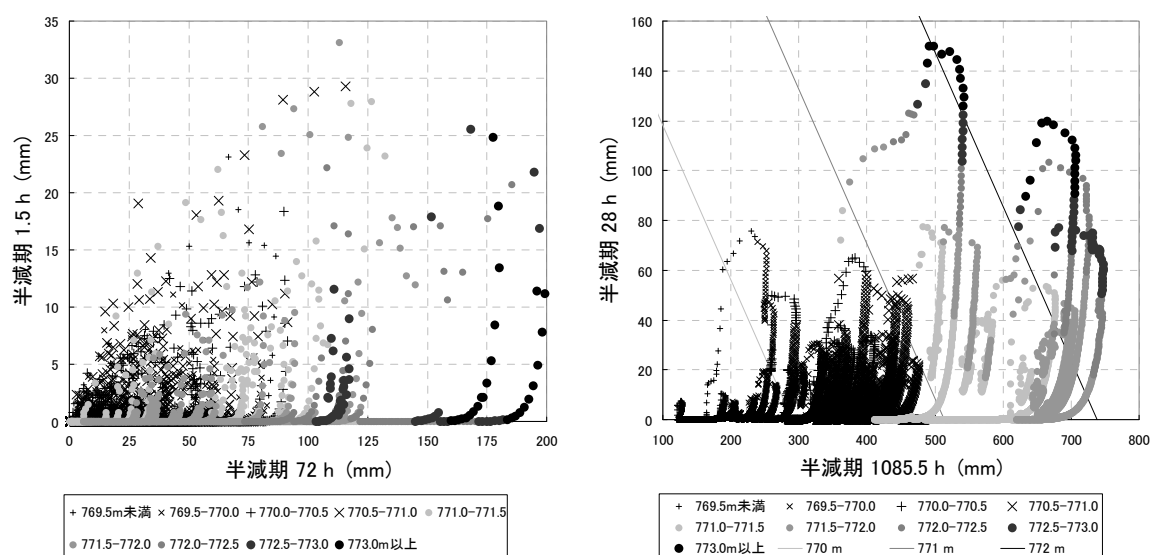


図-2 西おたふく山流域におけるスネーク曲線

左パネルは従来の半減期 72h, 1.5h によるもの。右パネルは最適化された半減期 1085.5h, 28h によるもの。プロットは図-1 下パネルに示した地下水位の大きさに塗り分けている。

り分けには一定の傾向が無いことから、半減期 1.5 h の実効雨量は、基岩内地下水位変動との相関がないといえる。一方、横軸に示した半減期 72 h の実効雨量が大きいほど、地下水位は高い傾向にあることがわかる。しかしながら、異なる凡例が混在するケースも多く、相関はあまり高くない。

次に(1)式のパラメータを最適化したところ、良好な再現結果が得られた(図-3 下; $R^2=0.939$)。横軸半減期は 1085.5 h であり、通常の「長期的な雨量指標」として用いられる 72 h に比べて非常に大きくなった。縦軸半減期も 28 h と、通常の「短期的な雨量指標」として用いられる 1.5 h の 19 倍もの値となった。図-3 上は、これらの半減期を用いて得られる長期的雨量指標および短期的雨量指標の年変動である。両指標とも、図-1 に示した指標に比べて、変動が緩やかになっていることがわかる。これらの指標をそれぞれ横、縦軸にとったスネーク曲線(図-2 右)では、地下水位に基づく塗り分けが明瞭に区分されており、横、縦軸に示した実効雨量によって基岩内地下水位が良好に予測できることがわかる。

同様の解析を各流域について行ったところ(図は省略)、花崗岩の母材を有する六甲山で長期的な雨量指標(横軸実効雨量)の半減期が長くなる傾向がみられた。凝灰角礫岩・安山岩溶岩を母材とする針原川流域では、バラツキが大きいものの、平均的には六甲山の山麓域とほぼ同じ半減期が得られた。泥質片岩・珪質片岩・塩基性片岩を母材とする朝谷川流域、花崗閃緑岩を母材とする与田切川流域の半減期はともに小さくなったが、この傾向は特に朝谷川流域で顕著であった。このように、基岩内地下水位変動を最も良く特徴付ける横軸実効雨量の半減期は、各種地質を持つ流域毎に異なる傾向が見られた。一方で、縦軸に示した短期的な雨量指標は、全 27 地点のうちの 10 地点において地下水位の再現に必要となり、このような地点はいずれの流域にも存在していた。その半減期は 3~60 h であり流域間の違いはあまり明瞭ではなかった。このことから、短期的な雨量指標の必要性やその影響度は、同種の流域内であっても、個々の地点によって異なることが考えられる。

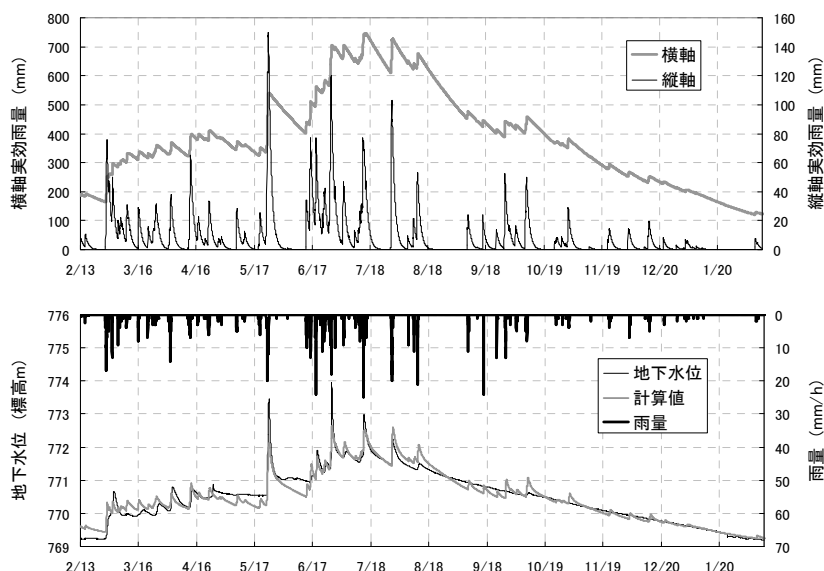


図-3 西おたふく山流域における(上)半減期 1085.5h および 28h の実効雨量と(下)ハイトグラフおよび基岩内地下水位変動の観測値と計算値