

岩盤内地下水位の変動特性を指標とした大規模崩壊発生予測の可能性

中央復建コンサルタンツ株式会社(信州大学大学院農学研究科) ○上田 大輔

信州大学農学部 平松 晋也・福山 泰治郎

天竜川上流河川事務所 草野 慎一・福本 晃久

1. はじめに

近年、大規模崩壊の発生にともなって、甚大な土砂災害が引き起こされる事例が全国各地で報告されている。大規模崩壊はいずれも、崩壊深が深層にまで達していることや、表層崩壊に比べ生産される土砂量が多いことが指摘されている。このように甚大な被害をもたらす現象であるにもかかわらず、大規模崩壊に対する防災対策は立ち遅れているというのが現状である。大規模崩壊による土砂災害を抑制・軽減するためには、その発生メカニズムを解明することにより、発生場所や発生時刻の予測手法を早急に確立する必要がある。近年、大規模崩壊跡地での地下水位観測や湧水の観測などの研究により、深層での地下水の挙動が大規模崩壊の発生に関与していることが指摘されるようになった。しかしながら、大規模崩壊の発生メカニズムにおける岩盤内地下水の関与を直接的に示した研究事例はほとんど見当たらない。この原因としては、大規模崩壊の発生頻度が低く、水文観測データの蓄積が少ないことが挙げられる。このような社会的・学術的背景を踏まえ、本研究では、岩盤内地下水位と湧水量を指標とした大規模崩壊発生予測手法の構築に資することを目的として、岩盤内地下水位と湧水量を観測することにより降雨応答特性を把握し、降雨に対する地下水流動経路の追加による大規模崩壊発生メカニズムについて仮説を立てるとともに、発生予測の可能性について検討を加えた。

2. 岩盤内地下水位の変動特性

研究対象流域は、長野県上伊那郡飯島町に位置する与田切川流域内の Y-1 流域である。岩盤地下水位は Y-1 流域内を縦断する 4 地点(Y-1Gw1～Y-1Gw4)で観測し、湧水量は Y-1 流域下部の 2 地点(Y-1Sw1, Y-1Sw2)で観測した(図-1)。なお、本文では観測期間が 1 年以上となる Y-1Gw1 と Y-1Gw2 に対する解析結果を記載した。Y-1 流域内の Y-1Gw1 と Y-1Gw2 の岩盤内地下水位の経時変化を図-2 に示す。図-2 より、岩盤内地下水位 Y-1Gw1 は降雨量の増加とともに、ゆるやかに上昇する傾向を示した。これに対して、Y-1Gw2 は降雨に対して鋭敏に反応し、ピーク後直ちに低下し、一定水位まで減少している。また、Y-1Gw1, Y-1Gw2 ともに上限値が存在するといった事実は注目に値しよう。具体的には、本観測期間内での Y-1Gw1 の岩盤内地下水位の上限値は 1,127m で、Y-1Gw2 の岩盤内地下水位の上限値は 1,147m となっている。Y-1Gw1 と Y-1Gw2 で採取されたボーリングコアの性状を観察すると、Y-1Gw1 の水位が一定値を示すようになる 1,127m 付近の層では、岩が風化しマサ土状となっていることが確認できる。一方、Y-1Gw2 の 1,147m では、風化による目立った亀裂や、性状の変化は確認できなかった。岩盤内地下水位 Y-1Gw1 の観測結果やボーリングコアの性状把握より、ある閾値以上に岩盤内地下水位が上昇を続けようとする、岩盤内での亀裂や岩の変質部といった新たな水みちの追加により見かけの排水速度の増加(急激な排水速度の増大)といった地下水流動特性の変化が示唆された。

3. 地下水流動プロセスの推定

Y-1 流域をモデルとした岩盤内の地下水の流動プロセスと、それに伴う岩盤内地下水位の変動の概念を図-3 に示す。図-3 中の、

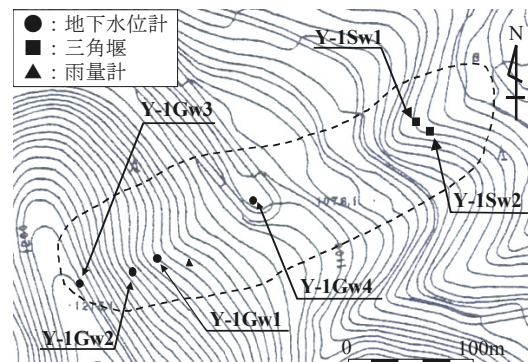


図-1 研究対象流域(Y-1 流域)

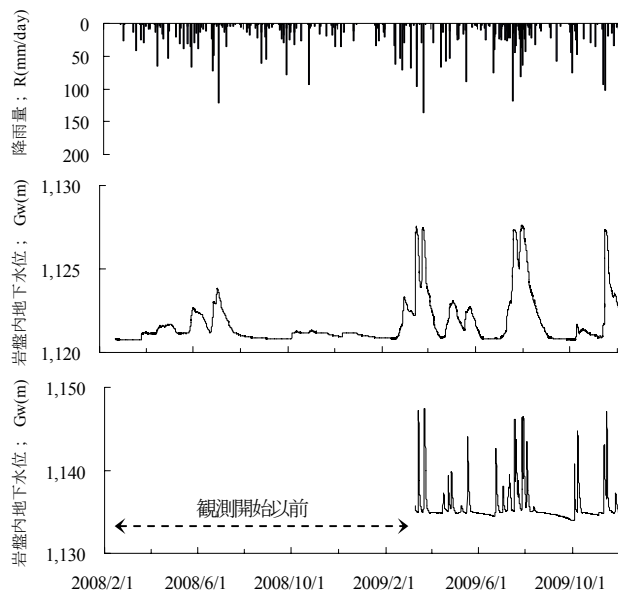


図-2 岩盤内地下水位の経時変化

Gw(t₀)から Gw(t₁)では未風化の岩盤であり、透水性の大きい亀裂やマサ土といった構造は確認されないため、岩盤内地下水位は降雨の増加に対応して上昇する。しかしながら、降雨の増加により岩盤内地下水位が Gw(t₁)を上回り、Gw(t₂)の亀裂や空洞といった透水性の高い層に到達すると、この層を流動経路として地下水が流下することにより岩盤内地下水位の上昇は抑制されるものと考えられる。このような現象が生じた場合、流域下流部での岩盤内地下水の集中化に伴う局地的な地下水位の上昇により、大規模崩壊発生の可能性が高まると考えられる。

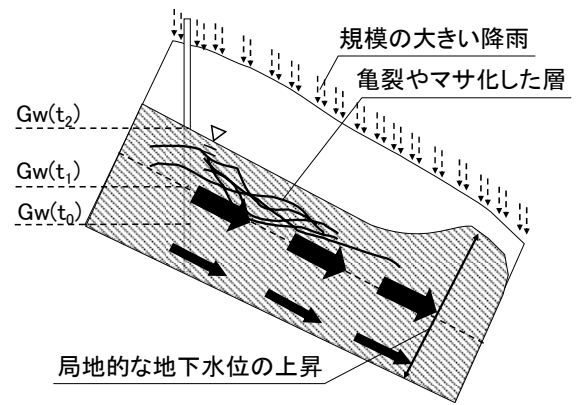


図-3 総降雨量とピーク岩盤内地下水位との関係

4. タンクモデルによる再現

Y-1 流域内の Y-1Gw1 と Y-1Gw2 の岩盤内地下水位を図4 に示す直列3段のタンクモデルを用いて再現を試みた。表-1 に各タンクのパラメータの同定結果を示す。Y-1Gw1 と Y-1Gw2 の再現値は、下段タンク(図4 参照)の貯留水深(h_c)に、それぞれ比例係数40と125を乗じることにより求めた。図5 に示す岩盤内地下水位の再現結果より、Y-1Gw1、Y-1Gw2 ともに、低水位時の再現性において若干劣っている期間が見られるものの、概ね良好に再現されていることがわかる。しかしながら、再現結果を詳細に眺めると、岩盤内地下水位の実測値が急激に上昇している期間では、再現値が過小評価となっている場合が見受けられる。これは、岩盤内地下水位の上昇にともない、上位に位置する「亀裂や空洞を多く含む透水性の高い層:図3 中の Gw(t₂)」から地下水が流域下流部へと急速に流下したことにより、Y-1Gw1 と Y-1Gw2 地点の地下水位(実測値)の上昇が抑制されたことによるものと推察される。

表-1 タンクモデル各パラメータ

岩盤内地下水位 Y-1Gw1	流出孔定数 (hour ⁻¹)	側方流出孔高さ (mm)
上段	C ₁ 0.050	h ₁ 35
	C ₂ 0.010	h ₂ 20
	C ₃ 0.500	
中段	C ₄ 0.020	h ₃ 0
	C ₅ 0.100	h ₄
	C ₆ 0.005	h ₅ 0
	C ₇ 0.001	
岩盤内地下水位 Y-1Gw2	流出孔定数 (hour ⁻¹)	側方流出孔高さ (mm)
上段	C ₁ 0.100	h ₁ 35
	C ₂ 0.050	h ₂ 10
	C ₃ 0.600	
中段	C ₄ 0.040	h ₃ 15
	C ₅ 0.700	h ₄
	C ₆ 0.030	h ₅ 5
	C ₇ 0.002	

図4 直列3段タンクモデル

5. 大規模崩壊発生危険度の予測手法に向けて

岩盤内地下水位の観測結果より、岩盤内地下水位がある閾値を上回り岩盤内で新たな水みちが追加され排水速度が増大すると、多雨期などの高水位期には、流域下流部の岩盤内地下水位が局所的に増加し、その結果として大規模崩壊を引き起こす可能性が示唆された。また、タンクモデルによる再現値では、岩盤内を均一な構造とした場合での地下水位変動を対象としたものであることから、多雨期などの高水位期において実測値を大きく上回った場合、下流部で岩盤内地下水の急激な集中化が生じ、大規模崩壊の危険性が高くなるものと推測される。このような実測値とタンクモデルによる再現値との関係を考慮すると、多雨期における高水位時の蓄積データから実測値と再現値との差を集積し、その差の最大値を大規模崩壊発生の境界値として設定することにより大規模崩壊発生危険度を評価できるものと判断される。

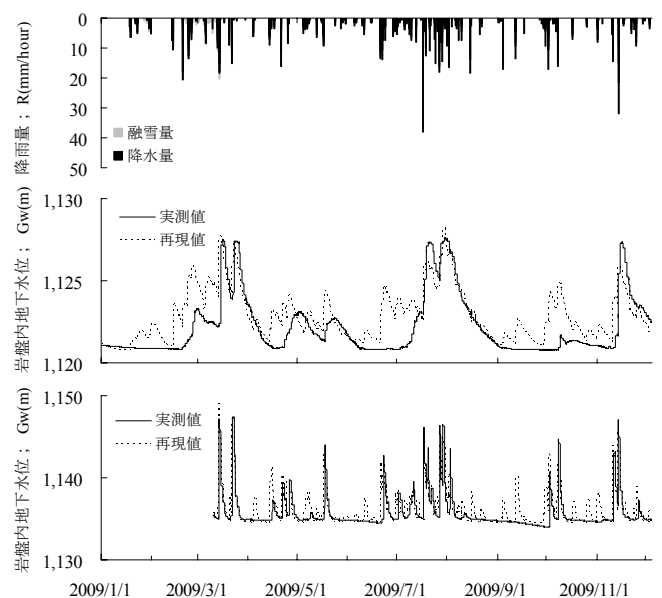


図-5 タンクモデルによる岩盤内地下水位の再現結果

6. おわりに

本研究では、タンクモデルによる再現値と実測値との差を指標として大規模崩壊発生危険度予測を行うことの可能性について検討を加えるとともに、危険度評価を行うための基本シナリオを提案した。同手法の適用性や普遍性の向上を図るためには、観測データの更なる蓄積が必要であるものの、本研究で提示した大規模崩壊発生危険度予測モデルのシナリオは、従来予測が極めて困難であった大規模崩壊発生の予測や災害の軽減策を講じる上での一助となるものと判断される。