

## 深層崩壊の発生予測のための地下水流動モデルの提示とその適用性

信州大学農学部

天竜川上流河川事務所

(株)地圏総合コンサルタント

○阪田 龍一・平松 晋也・福山 泰治郎・宮前 崇

蒲原 潤一・福本 晃久

山下 伸太郎・佐伯 響一

## 1. はじめに

本研究では、深層崩壊発生危険度予測手法確立の一助とすることを目的として、天竜川水系と田切川流域内で岩盤内地下水位と湧水量を観測し、岩盤内地下水位と湧水量の降雨応答特性について考察を加えた。そして、原位置トレーサー試験を実施し、これによって得られた知見を基に、流域内での岩盤内地下水の流動経路のモデル化を行った。さらに、タンクモデルを用いて岩盤内地下水位と湧水量を同時に再現可能となるモデルの構築を試み、モデルの妥当性の検討を行うとともに、モデルの運用に関する方向性について考察を加えた。

## 2. 研究対象流域

対象流域は、図-1 に示す長野県上伊那郡飯島町に位置する与田切川流域内の小流域 (Y-2 流域) であり、流域内の中腹に位置する2地点 (Y-2Gw1, Y-2Gw2) で岩盤内地下水位を、流域下部の2地点 (Y-2Sw1, Y-2Sw2) で湧水量をそれぞれ観測した。

## 3. 岩盤内地下水位と湧水量の降雨応答特性

岩盤内地下水位と湧水量の経時変化を示す図-2 より、岩盤内地下水位が 1,238m に満たない場合、Y-2Gw1 地点と Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位は概ね同値を示し、両地点は同一帯水層内に位置していることが示唆される。これに対して、岩盤内地下水位が 1,238m を上回ると岩盤内地下水位は、Y-2Gw1 > Y-2Gw2 となる事実が確認された。

Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位と Y-2Sw1 や Y-2Sw2 地点の湧水量との関係を示す図-3 より、両地点の湧水量は岩盤内地下水位の上昇とともに増加するものの、Y-2Sw2 地点では岩盤内地下水位 1,233m と 1,235m 付近を境に岩盤内地下水位に対する湧水量の上昇割合に変化が見られる。さらに、岩盤内地下水位 1,238m 付近を境に Y-2Sw1 地点の湧水量は急増するのに対し、Y-2Sw2 地点の湧水量の上昇割合が急減していることがわかる。これらの結果より、岩盤内地下水位が 1,238m を上回った場合には Y-2Gw2 地点の地下水が岩盤内の空洞を流下することにより Y-2Sw1 地点へと集中的に流下し、Y-2Sw2 地点へと向かう地下水の割合が低下することで Y-2Sw2 地点の湧水量は岩盤内地下水位に対する上昇割合が急減するものと推察される。

## 4. 岩盤内地下水の流動経路

岩盤内地下水の流動経路を定量的に把握するため、流域内で集中的に原位置トレーサー試験を行った。岩盤内地下水のみかけの流速は、岩盤内地下水位の上昇とともに速くなる傾向が明瞭に認められた。Y-2Gw2 地点から Y-2Sw1 地点へのみかけの流速は、0.45 ~ 4.82m/min と他の経路よりも最大 1.9 倍程度速く、特に、岩盤内地下水位 1,238m 付近を境に急増するようになる。

トレーサー試験結果から、Y-2Gw1 と Y-2Gw2 のそれぞれの地点から Y-2Sw1 や Y-2Sw2 のそれぞれの湧水地点へと向かう岩盤内地下水の流動経路が異なる事実や、流域内には「選択的かつ速い岩盤内地下水の流動経路」が存在するという事実が明らかになった。以上の知見を勘案し、Y-2 流域内での岩盤内地下水の流動経路について、岩盤内地下水位が 1,233.15m 未満の場合、1,233.15m 以上 1,238m 未満の場合、1,238m 以上の場合の 3 パターンに分類し、それぞれ岩盤内地下水位観測地点から湧水地点までの地下水流動経路の概念を図-4 に示す。

岩盤内地下水位が 1,233.15m 未満の場合には、Y-2Gw1 と Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水



図-1 研究対象地 (Y-2 流域)

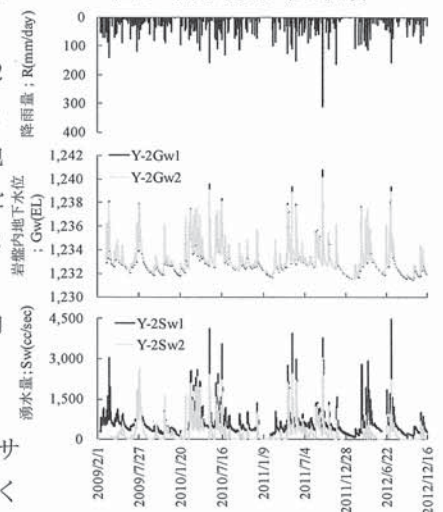


図-2 岩盤内地下水位と湧水量の経時変化

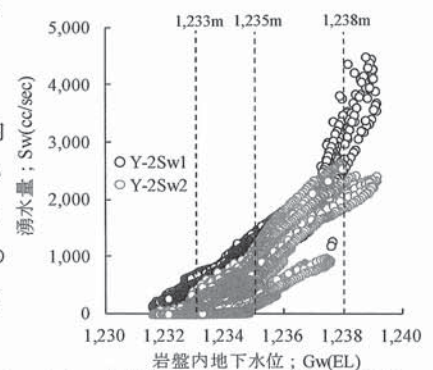


図-3 岩盤内地下水位と湧水量との関係



は共に湧水地点 Y-2Sw1 へと流下するものの、湧水地点 Y-2Sw2 への到達は認められない。岩盤内地下水位が 1,233.15m を上回ると、Y-2Gw2 地点からは湧水地点 Y-2Sw1 だけではなく、湧水地点 Y-2Sw2 へも岩盤内地下水が流下するようになる。さらに、岩盤内地下水位が 1,238m 付近まで上昇した場合には、Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水は湧水地点 Y-2Sw1 へと集中的に流下することになる。

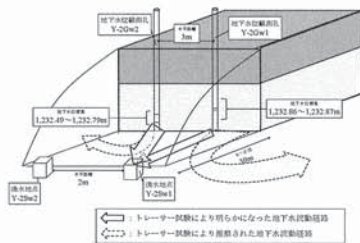


図-4(1) 岩盤内地下水の流動経路  
(岩盤内地下水位: 1,233.15m 未満)

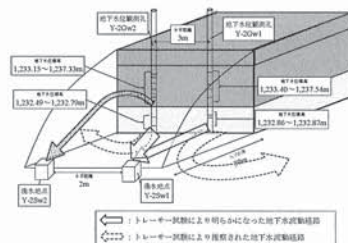


図-4(2) 岩盤内地下水の流動経路  
(岩盤内地下水位: 1,233.15m 以上 1,238m 未満)

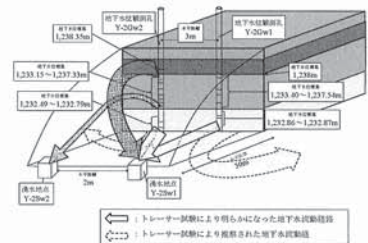


図-4(3) 岩盤内地下水の流動経路  
(岩盤内地下水位: 1,238m 以上)

## 5. 岩盤内地下水位と湧水量の挙動の再現

現地観測結果と原位置トレーサー試験によって得られた知見を基に、「深層地下水流動モデル: 図-5」を構築し、同モデルを用いて岩盤内地下水位と湧水量の再現を試みた。

### 5.1 深層地下水流動モデルの構築

本研究で提示した深層地下水流動モデルでは、図-5 に示す上段タンクと下段タンクをそれぞれ表層と深層として位置付け、Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位の再現には下段タンクの貯留水深 ( $H_B$ ) を、Y-2Sw1 地点の湧水量の再現には下段タンクの側方流出孔[2]と[5]からの流出量を、Y-2Sw2 地点の湧水量の再現には下段タンクの側方流出孔[3]と[4]からの流出量をそれぞれ用いた。

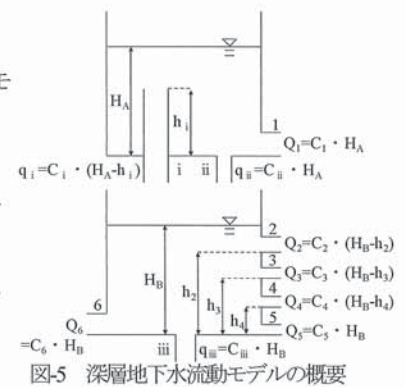


図-5 深層地下水流動モデルの概要

Y-2Sw1 と Y-2Sw2 の両地点の湧水量に対応する側方流出量と側方流出孔のパラメータは、トレーサー試験結果から得られた

- 1) 岩盤内地下水位が 1,233.15m 未満の場合: Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水は、湧水地点 Y-2Sw1 と湧水地点以外へと流下する
  - 2) 岩盤内地下水位が 1,233.15m 以上 1,238m 未満の場合: Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水は、標高 1,233.15m 以浅に存在する地下水流動経路により、湧水地点 Y-2Sw2 へも流下するようになる
  - 3) 岩盤内地下水位が 1,238m 以上の場合: Y-2Gw2 地点の地下水は、標高 1,238m 付近に存在する地下水の流動経路を流下し、Y-2Sw1 地点へと高速かつ集中的に流下するようになる
- といった事実を考慮するとともに、Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,236m 以上を示す高水位期に重点を置いて試行錯誤により決定した。

### 5.2 深層地下水流動モデルの妥当性の検討

深層地下水流動モデルによる再現結果の一例である図-6 より、降雨イベント No.90 などの Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,236m を大きく上回る高水位期では、Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位や Y-2Sw2 地点の湧水量の再現値は実測値と概ね同値を示していることがわかる。一方、Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,236m に満たない降雨イベント No.92 や No.94 といった低水位期では Y-2Gw2 地点の岩盤内地下水位や Y-2Sw1 と Y-2Sw2 の両地点の湧水量に対する再現性は低下し、再現値が実測値を上回る結果となった。これは、深層地下水流動モデルによるパラメータ同定の際に高水位期に着目したことによるものである。このように、低水位期の再現値には少なからず過大評価の傾向がみられるなど、改善の余地が認められるものの、深層地下水流動モデルによる高水位期での再現性は概ね良好であると判断される。

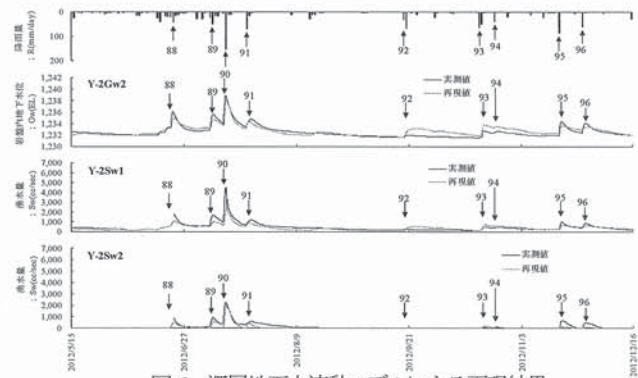


図-6 深層地下水流動モデルによる再現結果  
(2012年5月15日~12月16日)

## 6. おわりに

今後は、現地観測を継続するとともに、深層地下水流動モデルに改良を加え、同モデルによる再現精度の向上を目指す。そして、岩盤内地下水位と湧水量の観測値と深層地下水流動モデルによって随時算出される再現値とを用いた新たな深層崩壊発生危険度予測手法の構築へと研究を展開していく予定である。