岩盤内地下水位を指標とした深層崩壊発生危険度予測手法の提案

信州大学農学部（現 長野県林務部）　○冨田 美久
信州大学学術研究院農学系　平松 晋也
天竜川上流河川事務所　伊藤 誠記

1．はじめに

本研究では，深層崩壊の発生予測に資することを目的とし，対象流域内で岩盤内地下水位と湧水量を観測するとともに，同観測地点での電気伝導度の経時変化を観測した。そして，岩盤内地下水位や湧水量の降雨応答特性について考察するとともに，原位置トレーサー試験を実施し，岩盤内地下水の流動経路のモデル化を試みた。さらに，明らかになった知見を基に岩盤内地下水位変動予測モデルを作成し，岩盤内地下水位の再現を試みた。

2．研究対象流域と観測概要

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小流域（Y-1 流域：図-1）であり，流域内上流に位置する 4 地点（Gw3，Gw2，Gw1，Gw4）のボーリング孔内で岩盤内地下水位と電気伝導度を，下流部 2 地点（Sw1，Sw2）で湧水量と電気伝導度をそれぞれ観測した。

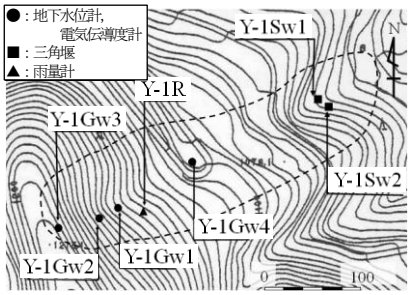


図-1　研究対象流域

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図-2 に示す。観測期間内に出現した降雨（図-2）の内，①降雨に対する岩盤内地下水位と湧水量に明瞭な反応がみられ，かつ②降雨の前後に無降雨期間が 24 時間以上続いたイベントを解析対象イベント（39 イベント）として抽出した。

Gw1 と Gw4 地点の降雨応答特性は類似しており，ともに降雨に対する反応が緩慢である事実に対し，Gw2 地点は鋭敏に反応しているため，Gw2 地点と Gw1&Gw4 地点の地下水の供給水源は異なるものと推察された。一方，流域最上流部に位置する Gw3 地点では，無降雨期間が続いてもほとんど水位低下がみられず，降雨による地下水位上昇もほとんどみられない。また，Sw1 と Sw2 地点は近接しているものの，Sw1 地点の湧水量は Sw2 地点よりも降雨に対する応答が鋭敏であるため，Sw1 地点と Sw2 地点へと至る岩盤内での地下水の流動経路は異なるものと推察される。

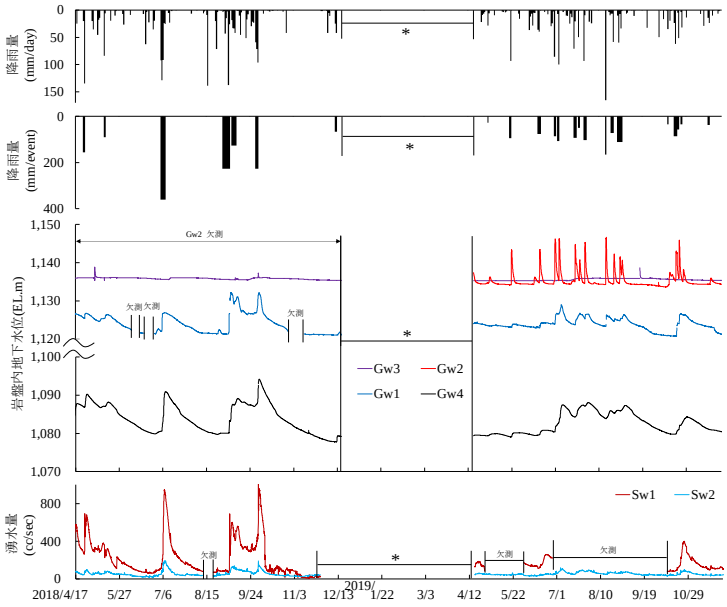


図-2　岩盤内地下水位と湧水量の経時変化

4．岩盤内地下水の流動経路

Y-1 流域内での岩盤内地下水の流動経路を定量的に把握するため，原位置トレーサー試験を既往研究と合わせて計 22 回実施した。その結果，トレーサー投入時の岩盤内地下水位の相違により，トレーサーの到達の有無やその所要時間に差異がみられた。トレーサー試験により得られた知見を基に，降雨応答が鋭敏な Gw2 地点を基準として①Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,140.39m 未満の場合，②Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,140.39m～1,142.55m の場合，③Gw2 地点の岩盤内地下水位が 1,142.56m 以上の場合の 3 ステージに区分し，各ステージに対応した Y-1 流域内での岩盤内地下水の流動経路を図-3 に示す。

Gw2 地点～Gw3 地点でのステージ①と②～③の地下水の流動方向の相違より，Gw2 地点と Gw3 地点間の岩

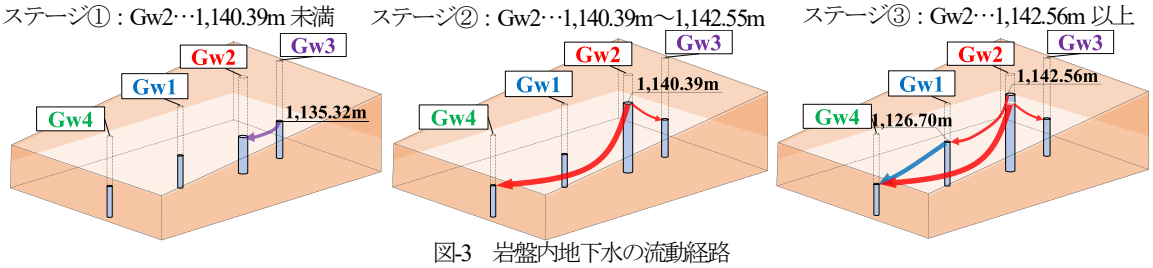


図-3　岩盤内地下水の流動経路

盤内地下水の移動は，動水勾配に依存しているといった興味深い事実が明らかになった。また，Gw2 地点の岩盤内地下水位の上昇とともに，Gw2 地点→Gw4 地点，Gw2 地点→Gw1 地点へと向かう岩盤内地下水の流動経路の存在が確認された。

５．岩盤内地下水位変動予測モデルによる岩盤内地下水位の再現

Gw1～Gw4 地点で確認されたトレーサー試験結果を基に，岩盤内地下水位の再現を目的とした岩盤内地下水位変動予測モデルの構築を試みた。本モデルでは，降雨に対する地下水の貯留と流出を再現可能となるタンクモデルを基本とし，各地点の岩盤内地下水位は，図-4 に示す各タンクの貯留水深（Gw3 地点：H_{Gw3}，Gw2 地点：H_{Gw2}，Gw1 地点：H_{Gw1}，Gw4 地点：H_{Gw4}）を用いてそれぞれ再現した。タンクに設けた側方流出孔の高さと孔径は，現地観測結果とトレーサー試験から得られた知見を基にそれぞれ決定した。たとえば，Gw2 地点の地下水位が 1,140.39m の時にトレーサーを投入すると Gw4 地点で到達が確認されたため，モデルの貯留水深：H_{Gw2} が 1,140.39m に相当する高さに達すると Gw2 地点から Gw4 地点へと流出するように側方流出孔の高さを設定した。本研究で提示した岩盤内地下水位変動予測モデルによる再現結果を示した図-5 より，Gw4 地点での再現性は若干劣るものの，Gw1，Gw2，Gw3 地点の岩盤内地下水位を概ね良好に再現していることがわかる。

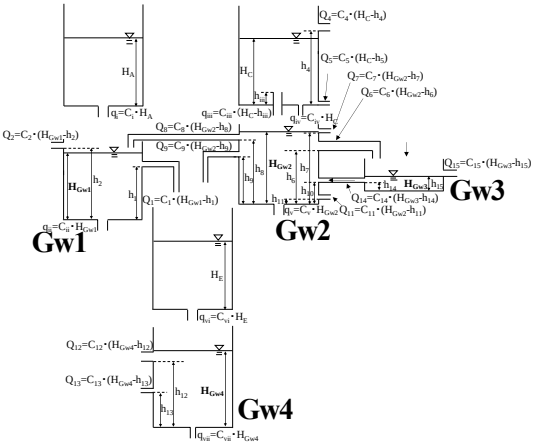


図-4　岩盤内地下水位変動予測モデル

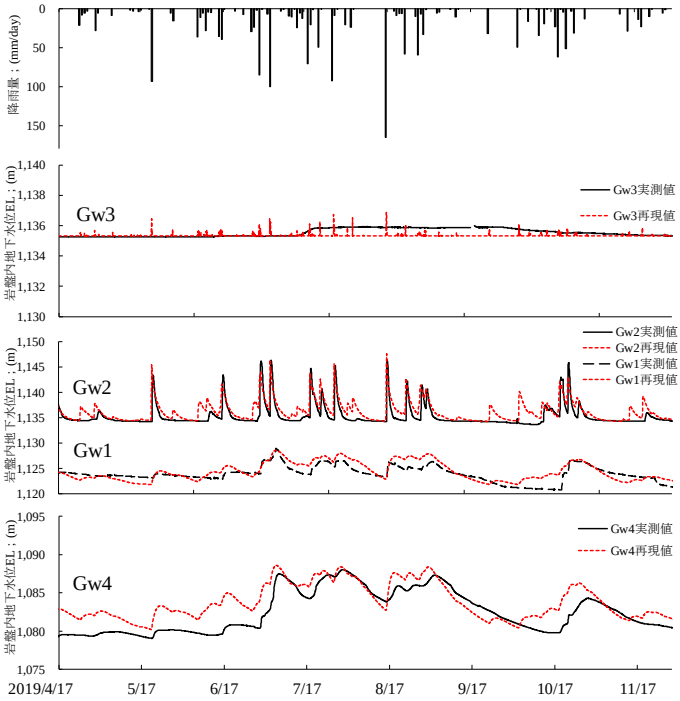
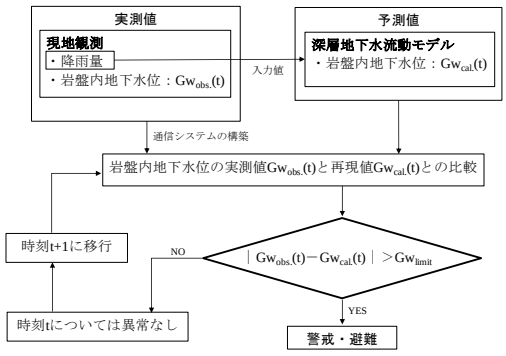


図-5　岩盤内地下水位変動予測モデルによる再現結果

６．深層崩壊発生危険度予測手法の提案と今後の課題

Gw2 地点の岩盤内地下水位は降雨に対し鋭敏に反応している事実や，Gw2 地点の岩盤内地下水位変動予測モデルによる再現性は概ね良好であるといった事実を勘案し，Gw2 地点の岩盤内地下水位を指標とした深層崩壊発生危険度予測手法の検討を行った。本研究で提示した手法では図-6 に示すように，Gw2 地点の岩盤内地下水位を常時監視することにより，実測値（$Gw_{obs.}$）と岩盤内地下水位変動予測モデルによる再現値（$Gw_{cal.}$）との差異（$Gw_{obs.}(t)-Gw_{cal.}(t)$：以下，$\Delta Gw(t)$と呼ぶ）をリアルタイムで算出することになる。$\Delta Gw(t)>0$ となった場合は外力の作用により岩盤内での地下水の流動経路が変化し，これまで以外の経路からの地下水の追加流入により地下水量の増加にともなう下流部での安定性の低下が懸念される。逆に$\Delta Gw(t)<0$ となった場合は Gw2 地点上流の岩盤内の水みちが閉塞し，上流域での岩盤内地下水位の急上昇が懸念される。時々刻々と変化する値として得られる$|\Delta Gw(t)|$と過去に記録された$|\Delta Gw(t)|$の最大値（以下，Gw_{limit} と呼ぶ）を比較し，$|\Delta Gw(t)|$が Gw_{limit} を上回ると深層崩壊発生の危険性が従来よりも高まったものとみなすことになる。また，$|\Delta Gw(t)|>Gw_{limit}$ となったものの岩盤内での変動がみられなかった場合には，この時の$|\Delta Gw(t)|$の値を以後の Gw_{limit} として運用することになる。ここで提示した評価手法は，学習型の評価法であり，今後データ（$\Delta Gw(t)$）を蓄積することによりその精度の向上を画ることになる。



$Gw_{obs.}(t)$：時刻tでの岩盤内地下水位の実測値
$Gw_{cal.}(t)$：時刻tでの岩盤内地下水位の再現値
Gw_{limit}：過去に記録された岩盤内地下水位の実測値と再現値の差の最大値
図-6　深層崩壊発生危険度評価の概要

今後は観測データを蓄積することにより，Gw_{limit} の更新を重ね，予測精度の向上を図ることになる。また，現時点では，Gw2 地点の岩盤内地下水位のピーク値は良好に再現できているものの，Gw4 地点は危険度予測手法を実際に適用し得るまでの精度には至っていない。将来的には，本研究で提示した Gw2 地点での手法を他の地点の岩盤内地下水位にも適用し，Gw1，Gw2，Gw4 地点での岩盤内地下水位を指標とした複合的な観点から深層崩壊の発生危険度を評価し得るモデルの構築へと研究を展開していきたい。