

平成 23 年台風 12 号で深層崩壊が発生した赤谷地区の水文特性について

国土交通省近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所 今森直紀・北垣啓文・平野 剛
 国土防災技術株式会社 ○澤 徹・小川内良人・横山 修

1. はじめに

紀伊山地では、平成 23 年 9 月の台風 12 号により大規模な深層崩壊が多発し、天然ダムの形成や土石流の発生など甚大な被害が発生した。このような深層崩壊による被害を軽減するためには、深層崩壊の発生メカニズムを明らかにした上で深層崩壊の発生を抑制する効果的な対策の立案が必要である。豪雨を誘因とする深層崩壊では、雨水の浸透に伴う地下深部での地下水圧の増加が考えられる。しかし、深層崩壊は表層崩壊と較べて発生頻度が低く、発生しても移動土塊が地外に流出するケースが多いため、深層崩壊発生メカニズムに関わる地下水文構造の実態把握は困難であった。そこで、本研究では、深層崩壊発生斜面の周囲に設置されたボーリング孔を利用し、深層崩壊発生斜面の水文特性を調査した。また、それらの結果を踏まえ、深層崩壊発生メカニズムについて考察した。

2. 調査地と調査方法

2.1 調査地概要

調査を行ったのは奈良県五條市大塔町赤谷地区である。赤谷では平成 23 年の台風 12 号により約 30ha の規模の深層崩壊が発生した。地質は、白亜紀後期の四万十帯日高層群美山層であり、多数の断層面や破断面が含まれている。崩壊前の微地形判読の結果、崩壊発生斜面の頭部付近に凹地形や谷向き小崖があることから、この斜面は岩盤クリープ（重力変形）斜面であったと判断される。

2.2 調査方法

崩壊斜面の地質、及び水文特性の把握には崩壊地周辺に配置されている 12 箇所のボーリング孔を利用した（図-1）。ボーリング孔は崩壊地を囲むように配置されており、斜面上部に限っては崩壊前の斜面を想定した水文地質構造の把握が可能と考えられる。

地質は、ボーリングコアの観察等から、風化層や緩み岩盤層、基岩を判定した。地下水位は、自記水位計を設置し 1 時間間隔で記録した。地下水検層（食塩水検層）は地下水位観測の開始前に実施している。水質分析は、主要項目（ Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Si ）とし、各ボーリング孔及び崩壊地内湧水で採水を行った。ボーリング孔の採水は 2014 年台風 11 号通過後の 8 月 27 日～9 月 2 日に行ったが、崩壊地内の湧水は、地内の崩土の移動が激しく立入が困難なため 2012 年の分析結果を用いた。

3. 調査結果

3.1 地質状況

亀裂や風化度で判定した緩み域深度は、BorA-7、A-8 で 35m 以上、それ以外は 40m 以上であり、いずれも深部まで脆弱な斜面となっていた。また、表層部では凝灰質頁岩層が分布しており、粘土を挟在している区間多くが見られた。

3.2 地下水変動

2015 年 7 月台風 11 号（総雨量 518mm）の前後の地下水変動状況を図-2 に示す。BorA-2、A-3、A-6 で水位の上昇幅が 30m 以上あり、赤谷の崩壊地頭部付近の地下水位は、豪雨により短時間で急上昇する特徴がある。一方、標高の高い位置にある Bor 主-1 と A-1 は、水位上昇幅が 10m 以下と小さかった。豪雨時に谷部の BorA-7、A-8 の水位が河床付近まで上昇し、その斜面下方の BorA-2、A-6 の水位が上昇を開始し、BorA-7 と A-2、A-8 と A-6 の最高水位の標高が近似するまで上昇した。更に斜面下方に位置する観測孔が遅れて最高水位に達した。水位上昇のタイミングで見ると、斜面上方の溪流の水位と連動して地下水が上昇し、崩壊地内に向かって流下する地下水経路が推定される（図-1）。また、水位上昇から最高水位になるまでの時間は下部斜面のほうが早かった。さらに、降雨停止後は急激には水位が低下せず、10 日程かけて元の水位に戻る傾向が全孔に見られた。

BorA-7、A-8 を除いて、無降雨時の地下水位は緩み域と基岩の

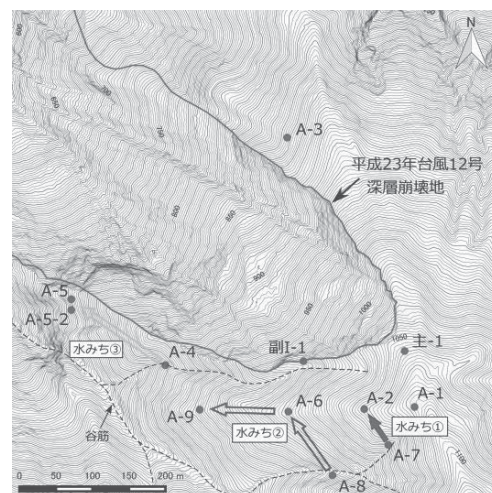


図-1 ボーリング孔配置図

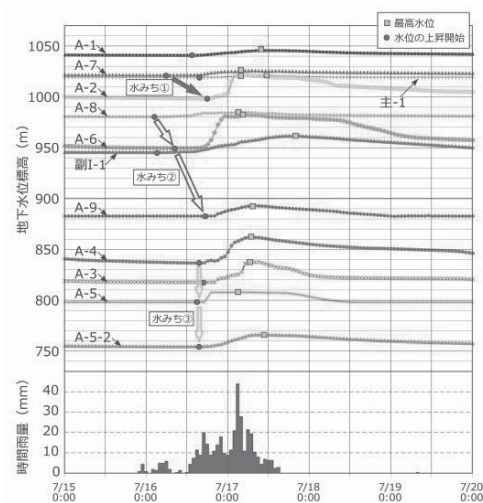


図-2 地下水変動図

境界付近（深度 40～60m）に形成されている。地下水検層の結果より、尾根部に設置されている BorA-1, A-2, A-3, A-6, A-9 では緩み域底面付近で地下水の流動層が検出されているものの、これらは微小な流動層であった。このことから、常時においては亀裂が発達した緩み域では、上部から供給された深層地下水は不圧状態で流下していることが考えられる。

3.3 水質分析

観測孔の地下水は概ね河川および伏流水の循環性の地下水の性質を示し、沢水の影響が強かった。しかし、Bor A-3 やガリー右支溪の地下水は溶存イオンが少ないものの、重炭酸ナトリウム型に分類され、比較的深い深度の地下水と判断される。

4. 考察

4.1 クリープ帯と特徴と地下水流動との関係

地形や地質状況から、地表から 40m にまで及ぶ深度まで亀裂帯が卓越した岩盤の緩み域（クリープ帯）が確認された。亀裂の多いクリープ帯とその下位の基岩では、前者の透水性が明らかに良い。よって、常時はクリープ帯の底面を地下水が流動していると考えられる。実際に、地下水検層や通常時の地下水位観測により、底面付近にはわずかな地下水帯を確認されている。また、少量の降雨時でもそれほど大きな水位の上昇は見られなかった。しかし、豪雨時には水位が 30m 以上も上昇したことは、クリープ帯が完全に飽和したことを示している。

一方、地表から数十メートルはさらに風化や岩盤の劣化が進行し、亀裂面の粘土や細粒物の充填が増加していたことから、表層付近はクリープ帯よりも相対的に透水性が低いと判断される。すなわち、崩壊斜面内では、表層、クリープ帯、基岩において透水性が異なる 3 層構造になっており、いわゆるキャップロックの帯水構造を形成していたものと考えられる。ただし、斜面の末端ほど重力変形が進行しておらず、亀裂も少ないことから排水能力が低く、斜面内に地下水を蓄積しやすい構造であったと想定される。これは、斜面下部ほど水位上昇開始から最高水位までの時間が短いこと、上昇した水位がすぐに低下しないといったことと矛盾しない。

4.2 深層崩壊発生メカニズム

以上、深層崩壊発生斜面周辺の水文地質構造から、深層崩壊発生メカニズムとして次のようプロセスが考えられる（図-3）。

- ① 通常時には、クリープ帯の底面付近では、上部斜面から供給された深層地下水が不圧状態で流下している。
- ② 降雨時には、クリープ帯の底面付近に流入する地下水量は増大するが、亀裂の発達が顕著なクリープ帯では不圧地下水の水位上昇は比較的緩慢である。
- ③ 異常豪雨時には、クリープ帯の上位にある風化帯が、キャップロック構造として上位制限床となり、クリープ帯内の飽和水は閉塞されて有圧地下水化する。また、水みち（流動地下水）を介して上部斜面の水帯と連結することにより、上部斜面に形成する自由地下水面の位置水頭まで、クリープ帯内の間隙水圧は急激に増大する。

クリープ帯の底面は、深層崩壊の崩壊面に相当していると考えられることから、クリープ帯底面付近において極めて大きな間隙水圧が作用し岩盤を破壊し始めることが、深層崩壊発生の初動と位置づけられる。木下ら（2013）は、上部斜面の地すべり変動が正の過剰間隙水圧の発生の原因のひとつとしたが、本報告における過剰間隙水圧発生プロセスを考えれば、地すべりの存在は必ずしも必要ない。

5. まとめと課題

深層崩壊発生斜面は、深部にまでクリープ帯が存在し、その底部を崩壊面として豪雨時には過剰な間隙水圧が作用する可能性が示された。赤谷周辺の深層崩壊発生箇所についても同様の構造や水文特性を確認する必要がある。

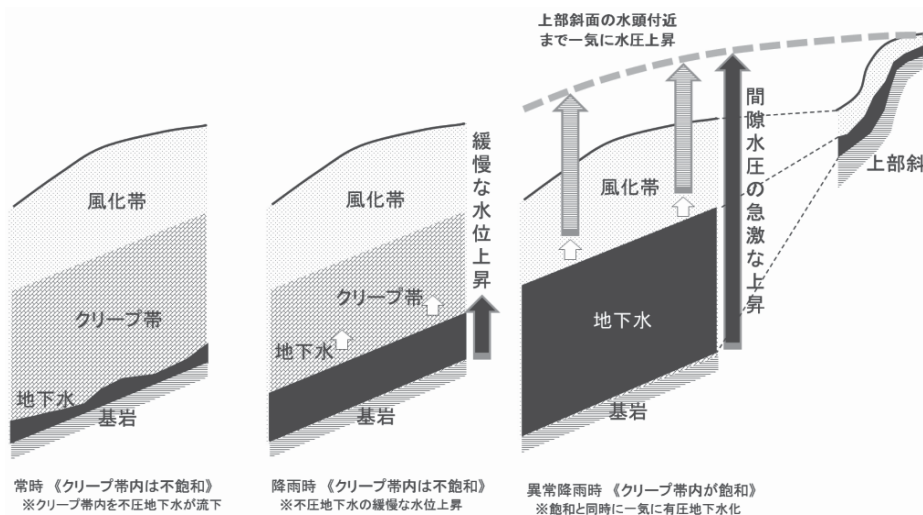


図-3 クリープ帯における有圧地下水化の概念図

引用文献：木下篤彦・小川内良人・眞弓孝之・柴崎達也（2013）平成 23 年台風 12 号で発生した深層崩壊の地質的素因と崩壊面の土質特性，砂防学会誌，66，6，p. 3-12