

北股地区深層崩壊地における水理地質構造の検討（その2）

—集水域外からの地下水流入実態の検証—

応用地質株式会社 ○小松 慎二・村重 直邦・伊藤 正美・山根 誠  
 紀伊山地砂防事務所 今森 直紀・北垣 啓文・平野 剛  
 京都大学大学院 小杉 賢一朗

1. はじめに

平成23年9月の台風12号通過時の豪雨は、紀伊半島の各地に深層崩壊、土石流、河川氾濫等の大水害をもたらした。奈良県野迫川村北股地区で発生した深層崩壊は、幅200m、長さ400m、推定崩壊土量 $V=120$ 万 $m^3$ に及び、流出した土砂は天然ダムを形成するとともに下流の北股川まで到達し、人家8戸（全壊3棟、半壊5棟）を巻きこんだ。

北原ら(2013)<sup>1)</sup>は、北股地区の深層崩壊の場を規制する地質構造として2つの断層（F-1、F-2）の存在を示した（図-1）。また、尾根上の平坦面には約7300年前に降下した広域テフラ（アカホヤ火山灰）<sup>2)</sup>が残存することから、深層崩壊は、テフラが地形面を被覆した以降の期間は、大きな地形変化はなかった箇所が発生したと推定した。

小松ら(2015)<sup>3)</sup>は、深層崩壊箇所周辺の地下水の流れを規制する地質構造として、西北西方向の尾根に分布する透水性の高い砂岩優勢層（以下、高透水性砂岩）の存在を示した。この高透水性砂岩層の存在により集水域外からの地下水が崩壊箇所に流入したと考え、水文調査の結果をもとに、三次元浸透流解析により、地下水の挙動について再現を試みた（図-2）。

本発表では、北股地区の深層崩壊メカニズム検証の最終段階として、地下水位観測とトレーサ試験により高透水性砂岩層中の地下水流動特性について検討した。

2. 調査方法

高透水性砂岩層中に設置した地下水位観測孔を利用したNaCl溶液によるトレーサ試験は、2013年2月にW7を投入孔、W8をEC観測孔として実施したが、約1カ月の観測では、顕著なECの変化は認められなかった。その後、地下水位や降雨との応答特性を連続的に観測するため、W14、W15、W16を設置し、2014年10月にW14に200g/L程度のNaCl溶液を約500リットル投入し、2015年12月まで約1年間、地下水位と電気伝導度（以下EC）の連続測定（1回/時間）を行った。試験孔の仕様を表-1に示す。なお、W16孔については、トレーサの到達が確認されたため、2015年5月にセンサー位置をGL-21.3、24.8、28.3、31.8、34.8mの5深度に変更した。

表-1 観測孔の仕様一覧表

孔名	標高(m)	孔長(m)	有孔管深度(m)	センサー深度(m)	備考
W14	1019.5	65.0	18.0-65.0	50.6	NaCl投入孔
W7 <sup>※1</sup>	1009.2	78.0	18.0-78.0	63.2	投入孔から56m <sup>※2</sup>
W8	997.8	55.0	3.0-55.0	49.7	〃 から89m
W15	972.8	40.0	19.0-40.0	20.0 <sup>※3</sup>	〃 から90m
W16	965.5	35.0	11.0-35.0	30.7 <sup>※3</sup>	〃 から117m

※1：斜め60度北北東向き（図1矢印の方向）

※2：水平距離

※3：2015年5月にセンサー位置変更、W15はGL-32.8m

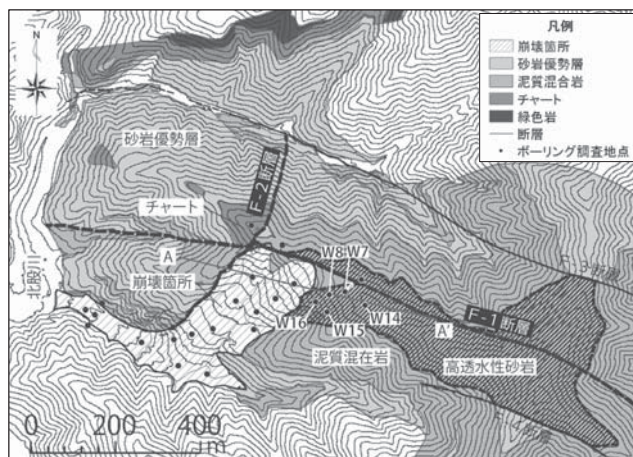


図-1 地質平面図

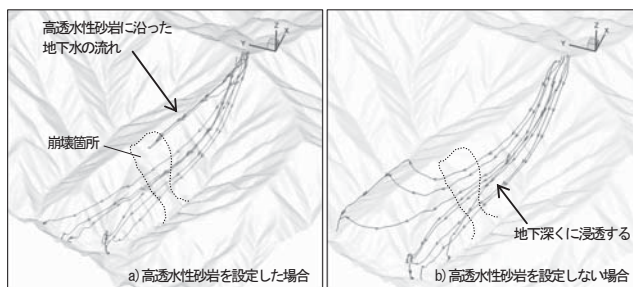


図-2 三次元浸透流解析による流線図

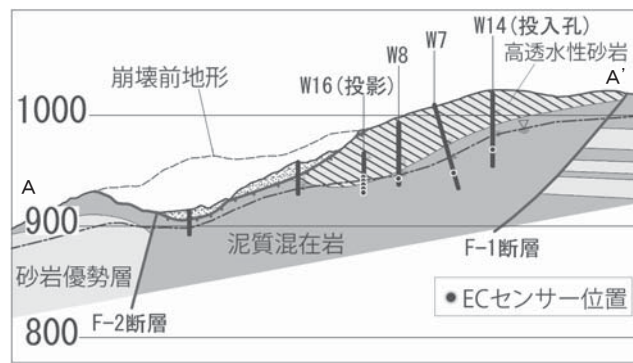


図-3 推定地質断面図

なお、2014年10月のNaCl投入前のECは、W16が26mS/mでその他の観測孔は2~5mS/mであった。

3. トレーサ試験結果

図-4にトレーサ投入後の2014年10月から2015年3月までのECと地下水位の観測結果を現地の雨量計とアメダス風屋の雨量と併せて示す。

投入孔W14のECは、投入後半月程度で15mS/mまで低下し、その後55mS/mまで再度上昇したのち再び低下、投入4カ月後の2015年2月頃には投入前の5~6mS/mに戻った。

それに対し、EC観測孔では、NaCl投入から約2ヶ月後の2015年12月21日（約2カ月後）に、崩壊箇所に最も近いW16（投

入孔からの水平距離 117m の EC が急激に上昇し、2015 年 12 月 25 日には W15 の EC もわずかに上昇した。W16 ではその後も地下水位の上昇に合わせてパルス波的に EC 値が 40～80mS/m まで上昇下降を繰り返した。W16 での EC 上昇は、地下水位の上昇イベントに連動して発生している。

一方、その中間に位置する W7, W8 では EC の顕著な変動が認められなかった。

次に、W16 に設置した多深度の EC 測定結果を、図-5(2015 年 7 月初旬、降雨イベント時：累積雨量 30 mm)、図-6(2015 年 7 月台風 11 号時：累積雨量 404 mm)に示す。

図-5 に示す累積 30 mm の降雨では、約半日遅れて地下水位が上昇している。また、地下水位上昇開始とともに最も浅い深度の 21.3m の EC が上昇し、その後、より深い 24.8m, 28.3m, 31.8m の EC が順次上昇している。図-6 の台風 11 号では、EC が一旦上昇したあと 8mS/m まで低下したが、深度が深い位置ほど低下は穏やかであった。地下水位は 15m 程度上昇し、地表付近(GL-3m)にまで達した。

#### 4. 考察

深層崩壊地の背後には、東西に延びる尾根沿いに高透水性砂岩層が連続している(図-1)。高透水性砂岩の透水係数は、周辺の基盤の透水係数より 1～2 オーダー大きく、現場透水試験・湧水圧試験によれば  $2.0 \times 10^{-3}$  cm/sec であり、基底水位は泥質混在岩中にある。

まとまった降雨があると、地下水位は高透水性砂岩までゆるやかに上昇し、NaCl を含む高 EC の地下水が背後から崩壊地側に押し出されたと考えられる。W16 では、高透水性砂岩層と泥質混在岩の境界付近より EC が上昇することから、高透水性砂岩層が広域の地下水を集水する役割を果たしていると考えられる。一方、2015 年台風 11 号時は、短時間で水位が上昇するとともに EC が減少していることから、地表からの多量の浸透水の供給による希釈が発生したと考えられる。一方、高透水性砂岩中の水みちは偏在しており、W14 と W7, W8 の地下水流は連通していないと推定される。

平成 23 年 9 月に深層崩壊が発生した際には、連続雨量は 1,044 mm に及び、降り始めから 3.5 日後、降雨が落ち着いた頃に崩壊した<sup>4)</sup>。今回の検討結果から、水の供給源は①集水域外から高透水性砂岩層を流路とする深層地下水、②地表からの浸透水のふたつがあると考えられる。①は降雨条件にもよるが 1 日～数日遅れて崩壊箇所には到達する。②はまとまった降雨後(先行降雨にもよるが 50mm 以上)、5 時間程度で水位上昇に寄与する。被災時は長雨により①からの地下水が徐々に増加し、②も加わって深層崩壊の誘因になったと考察した。

#### 5. おわりに

深層崩壊発生誘因には、深層地下水(基岩内の地下水)が関与しているといわれている<sup>5)</sup>。本発表では、地下水位観測と NaCl トレーサの EC 連続観測によって、深層崩壊地への流域界を越えた深層地下水の供給と豪雨時の浸透水の供給があることを示した。本手法は、深層崩壊が発生する可能性が高い斜面の抽出において、集水域外からの地下水流入のような広域の水理地質評価に対し有効な手法のひとつであると考えられる。

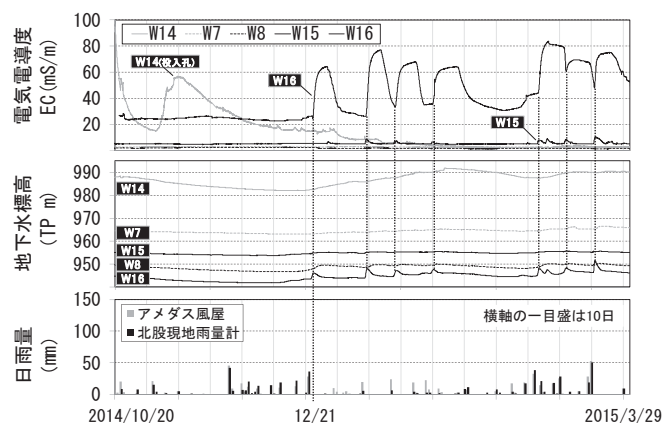


図-4 EC トレーサ試験結果

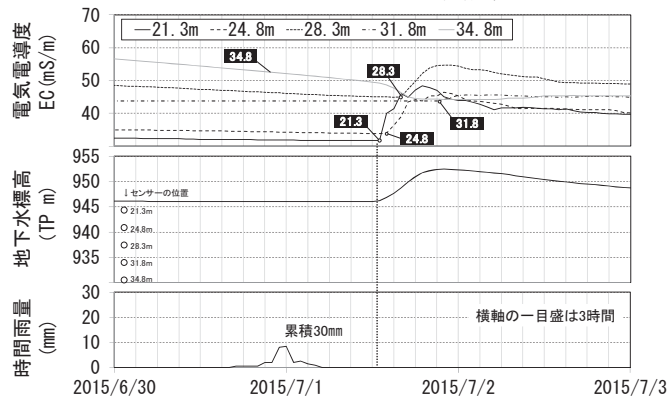


図-5 W16 深度別変化(累積雨量 30 mm)

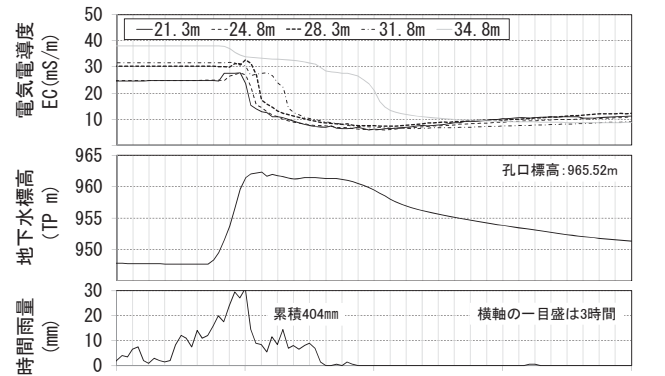


図-6 W16 深度別変化(累積雨量 404 mm)

#### 参考文献

- 1) 北原ら(2013)：深層崩壊の素因となる地質構造について—平成 23 年紀伊半島大水害・北股地区の事例、平成 25 年度砂防学会研究発表会講演集
- 2) 町田・新井(2003)：新編火山灰アトラス — 日本列島とその周辺、東京大学出版会、2003 年
- 3) 小松ら(2015)：北股地区深層崩壊地における水理地質構造の検討、平成 27 年度砂防学会研究発表会講演集
- 4) 渡辺ら(2014)：北股地区(奈良県野迫川村)で発生した深層崩壊について、平成 24 年度砂防学会研究発表会講演集
- 5) 地頭蘭ら(2004)：鹿児島県出水市針原川流域の水文地形的特徴、砂防学会誌、56-5、p15-26