

## 亀裂の水理特性に着目した深層崩壊メカニズムへのアプローチ —和歌山県三越地区を事例に—

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  
株式会社エイト日本技術開発 ○中野英樹, 藤原康正, 塩飽悠馬

### 1. はじめに

平成 23 年紀伊半島大水害では、和歌山県、奈良県にて多くの深層崩壊が発生し、甚大な被害をもたらした。このような深層崩壊の主な特徴として、崩壊スピードが速いこと、崩壊最深部付近に湧水がみられる場合が多いことが挙げられる。

また、既往調査結果から、空中電磁探査等により特異的な比抵抗分布が認められ、尾根に沿った特異的な地下水供給が生じていることがわかってきており、深層崩壊の発生メカニズムの一因として地下水が大きく影響していることが明らかである。

このことから、豪雨による間隙水圧の上昇により、連続性のある特定の水みちを形成する亀裂が破壊強度を超えることで「強度ゼロ」状態となって崩れ落ちたのではないかと仮定し、深層崩壊地を含む周辺地域の地盤及び水文特性を整理し、降雨-地下水位上昇タイミング、地下水の水位変動速度・上昇量等の亀裂の水理特性に着目して、深層崩壊の発生メカニズムについて一考察した。

### 2. 三越地区の概要

和歌山県田辺市本宮町三越地区では、平成 23 年 9 月 4 日の朝に三越川右岸側の北向き斜面にて、崩壊規模幅約 300m、奥行き約 670m の深層崩壊が発生<sup>1)</sup>し、崩壊した土砂により三越川は一時的に河道閉塞が発生、その後侵食されて、閉塞は解消された。

基盤岩は四万十層群の泥岩砂岩互層が分布しており、大局的には北落ち傾斜で、崩壊発生地は北向き斜面であることから流盤構造を呈している。

これまでの調査結果から、地下水は尾根沿いでかつ地層の走向に沿って流れ、尾根端部に位置する崩壊発生地の方向に流れてくることが判明した。

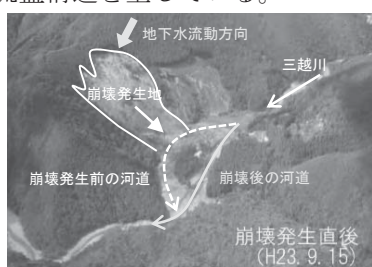


写真 1. 崩壊直後の三越地区<sup>1)</sup>

### 3. 崩壊発生地の特徴

#### 3.1. 崩壊発生深度の特徴

崩壊発生地に残存する背後斜面では深度 30~40m 付近まで風化帯が分布し、それ以深は亀裂が多いものの新鮮岩に近い状態となる。この傾向はコア観察だけでなく、破砕度区分<sup>2)</sup>や色彩測定でも同様の傾向となり、pH や電気伝導度 (EC) の測定結果でも風化帯と新鮮岩との境界付近に測定値の変化が認められた。

また、崩壊地内と崩壊地背後斜面のボーリングコアを比較すると、崩壊地内に風化帯が分布していないことから、崩壊発生深度は 30~40m 付近までの風化帯と考えられ、緩みが進行している区間と考えられる。

この風化帯と新鮮岩との境界付近で亀裂の破壊圧を把握することを目的としたルジオンテストを実施し、0.46~0.49MPa (水頭にして 50m 相当) の測定値が得られた。



写真 2. コア写真

#### 3.2. 水位観測孔における水位変動速度の特徴

図 1 は崩壊発生地の背後斜面の水位観測孔 (M-2) における平成 27 年 7 月の台風 11 号時の水位上昇と水位変動速度の関係をグラフ化したものである。

台風 11 号では降り始めからの累積雨量が 571.5mm (アメダス本宮) に達した (図 3 参照)。降雨開始から 29 時間後の累積雨量 350mm 付近を超えてから水位上昇を開始するが、時間雨量 20~30mm 降り続けている中、一時的に水位上昇速度が遅くなる深度が認められた。この現象は他の水位観測孔 (図 2 の主-2) でも認められ、コア状況から亀裂の発達した風化岩の開口亀裂に地下水が流入し、その後、亀裂内に地下水を貯留できる限界を超えると再び地下水位が上昇したと考えられる。

また、この地下水位の再上昇により、地下水を貯留した開口亀裂には水頭高の上昇分の間隙水圧が作用すると推測される。

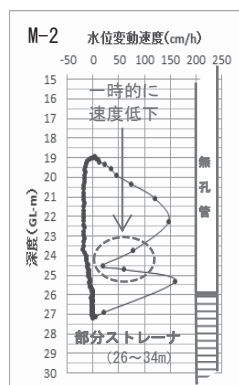


図 1. 台風 11 号時の水位変動速度



図 2. 水位計位置図

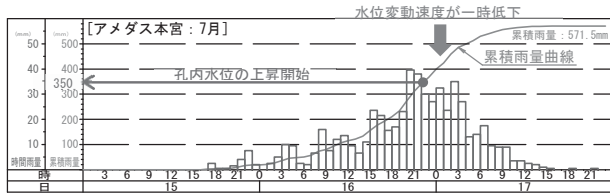


図3. 台風11号時の時間雨量と累積雨量の変化

#### 4. 深層崩壊メカニズムの一考察

水位観測孔における地下水位と水位上昇速度の関係から、開口亀裂に作用する間隙水圧の発生過程を模式的に表すと図4となる。亀裂への地下水の貯留とその後の水位上昇により、亀裂への間隙水圧が増加するため、亀裂が進行性破壊を起こす可能性が仮定できる。そこで、平成27年7月の台風11号における累積雨量と水位上昇の関係から推定される崩壊発生時の水頭と亀裂の破壊圧との関係、平成23年の崩壊発生時における累積雨量350mm（水頭発生）から崩壊発生時刻（平成23年9月4日9時頃）までの遅れ時間と水頭発生から崩壊発生時における推定水頭高までの遅れ時間の関係について以下に考察する。

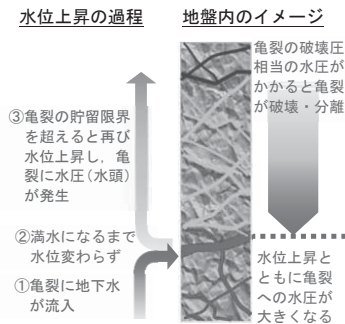


図4. 水位上昇と間隙水圧の関係

#### 4.1. 崩壊発生時と平成27年台風11号時の降雨強度

平成23年の崩壊発生時は、累積雨量350mmを超えてから時間雨量20~40mmが約1.5日間にわたって降り続いた。（アメダス本宮と後のレーダーアメダスによる解析結果より）平成27年7月の台風11号では、累積雨量350mmを超えてから6時間程度は20~40mmの降雨が降り続き、図5に示すように、この時の降雨強度は崩壊発生時の降雨強度に近似している。

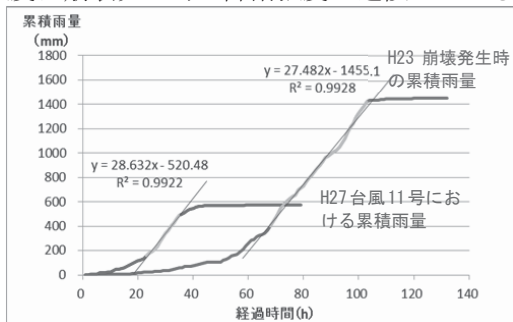


図5. 累積雨量の比較

#### 4.2. 崩壊発生時の推定水頭と亀裂の破壊圧

平成27年7月の台風11号時の水位観測孔の孔内水位と累積雨量の関係（図6）から水位変動速度（傾き）の近似式を求め、近似式に崩壊発生時の累積雨量を代入して崩壊発生時の水位（水頭）の再現を試みた。

その結果、崩壊発生地の背後斜面では、風化帯と新鮮岩との境界付近の開口亀裂に40~50m相当の水頭がかかっていたという計算結果となり、ルジオンテストで求められた新鮮岩上面の風化帯（緩み境界付近）における亀裂の破壊圧が0.46~49MPa（水頭にして46~49m相当）と概ね一致する結果が得られた。

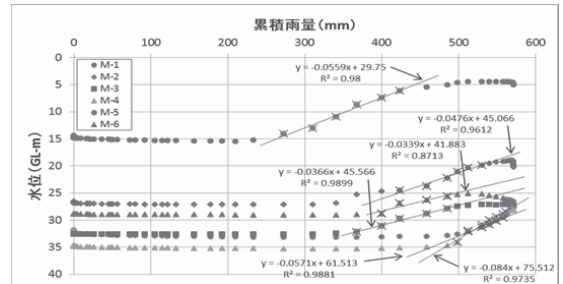


図6. 累積雨量と孔内水位上昇との関係

#### 4.3. 水頭発生から崩壊に至るまでの遅れ時間

水位上昇が開始する累積雨量350mmを超えてから崩壊発生までの遅れ時間について、実現象と水位上昇速度からの推定値を比較した。その結果、水位上昇を開始する時刻から崩壊発生の時刻（平成23年9月4日9時頃）までの遅れ時間は41時間である。

また、平成27年7月の台風11号時の水位変動速度（傾き）の近似式より求めた崩壊発生時の推定水頭高（40~50m相当）までに要する時間は、37~48時間となり、実現象に近い結果が得られた。

#### 5. まとめ

崩壊発生時の推定水頭と亀裂の破壊圧との比較、水頭発生から崩壊発生に至るまでの遅れ時間について実現象と水位上昇速度からの推定値について検討を行った結果、ともに相関性のある結果を得ることができた。このことから、緩みが進行している区間の亀裂に異常な間隙水圧が発生し、亀裂に破壊や分離が生じ、それが連続性のある広がりをもった分離面を形成することで深層崩壊が発生したと考えられる。

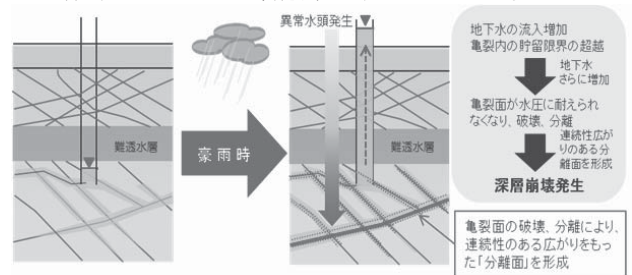


図7. 亀裂の破壊・分離のイメージ図

#### 6. おわりに

今後さらにデータを蓄積し、他地区でも検証を行い、深層崩壊メカニズムの解明および崩壊予測に役立てたいと考える。

#### 【参考文献】

- 1) 紀伊山地砂防事務所；事業概要パンフレット（2013.10）
- 2) 脇坂安彦・上妻睦男・綿谷博之・豊口佳之（2012）地すべり移動体を特徴づける破碎岩 四万十帯の地すべりを例として、応用地質，第52巻，第6号，231-247頁