

現地調査から読み解く斜面崩壊機構

所属・氏名 明治コンサルタント株式会社 川浪 聖志
 有限会社太田ジオリサーチ 太田 英将



1. はじめに

崩壊斜面において現地の状況を正確に把握し、崩壊メカニズムを推定することは、過不足のない効果的な対策を講ずる上で極めて重要である。本発表では、斜面末端にインパクトバリアが施工された急傾斜対策地で豪雨に伴い発生した崩壊斜面において、現地踏査、土層強度検査棒、地中音探査等の現地調査により崩壊機構を推定した事例を紹介する。

2. 地形・地質概要

当該地は、武庫川が北北西～南南東へと向きを変えながら大阪平野へと流れ込む手前の蛇行部の南岸に位置し、地形的には、武庫川沿いに形成された極急傾斜～急傾斜斜面に該当する。当該地は、図1の地質図によると、六甲花崗岩と有馬層群溶結凝灰岩との境界部付近に位置し、有馬層群内にあるように記載されている。しかし、崩壊面に露出する岩盤は花崗岩であることから、有馬層群と六甲花崗岩の境界となっている六甲断層の位置は、崩壊地の山裾部にあると考えられ、崩壊地は六甲花崗岩に相当するといえる。

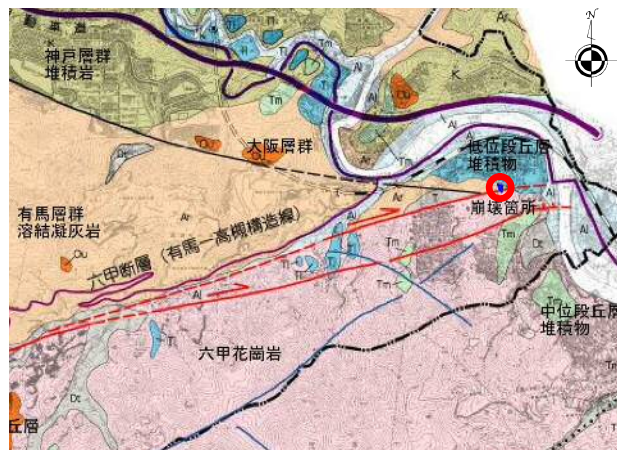


図1. 崩壊地周辺の地質図 (西宮市地質図)

3. 現地調査

3-1. 簡易測量による地形の把握

現地調査に先立ち、ノンプリズムレーザー測距儀を用いた簡易測量を実施し、崩壊後の地形を把握した。

3-2. 現地踏査による地盤状況の把握

簡易測量により作成した地形図を基に現地踏査を行い、崩壊斜面の地質平面図と崩壊前後の地質断面図を作成した(図2、3)。

①地形形状

崩壊地は、大きく崩壊域・掃流域・堆積域に3区分できる。

崩壊域は、硬質な花崗岩(CM~CL級)が分布しており、これを被覆していた崖錐層(角礫主体)と表土層(粘土混じり砂)が崩壊・消失している。

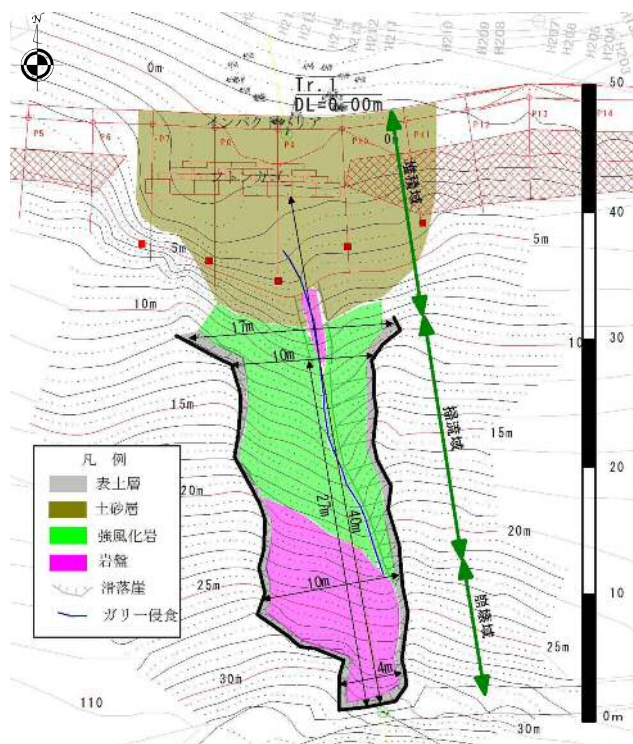


図2. 崩壊斜面の地質平面図

周辺地形から崩壊前の地形を復元し、崩壊後の縦断面図と比較すると、崩壊域の崩壊土層厚は1.0～1.5m程度である(図3)。

掃流域は、主に崩壊した土砂が流れ落ちた区域である。頭部滑落崖から27m付近までは、幅10m形状を保つが、それ以降は幅広となり堆積域に漸移する。掃流域の岩質は破碎質で強風化(D級)しているため、侵食を受けガリー状となっている。このため、崩壊土層厚は見かけ上、厚く最大2.2m程度である。

堆積域は、崩壊した土砂が堆積した場所であるが、実際にはインパクトバリアに捕捉され、強制的に堆積した範囲である。

②土質の特徴

頭部滑落崖付近は、岩盤との境界近くにφ1cm程度のソイル

パイプが認められる(図4)。調査時が冬季であったため、ソイルパイプからの湧水は観察されなかったが、崩壊時にソイルパイプから多量の地下水供給があったことが推察される。

滑落崖の断面は、消失した崩壊土層の元々の構造を残しており、崩壊メカニズムを推定する際の重要な情報となる。図5に測方崖の写真とスケッチを示す。表層40cmは草根等が侵入した有機質の土砂(粘土混り砂)であり、その下位に、厚さ約1m程度で崖錐礫層が分布している。崖錐礫層は、φ5～15cmの角礫を主体とし、粘土混じり砂が基質部を構成する。なお、当該層は、空隙が多いため、透水性が高く、地下水貯溜可能量も大きい地盤である。

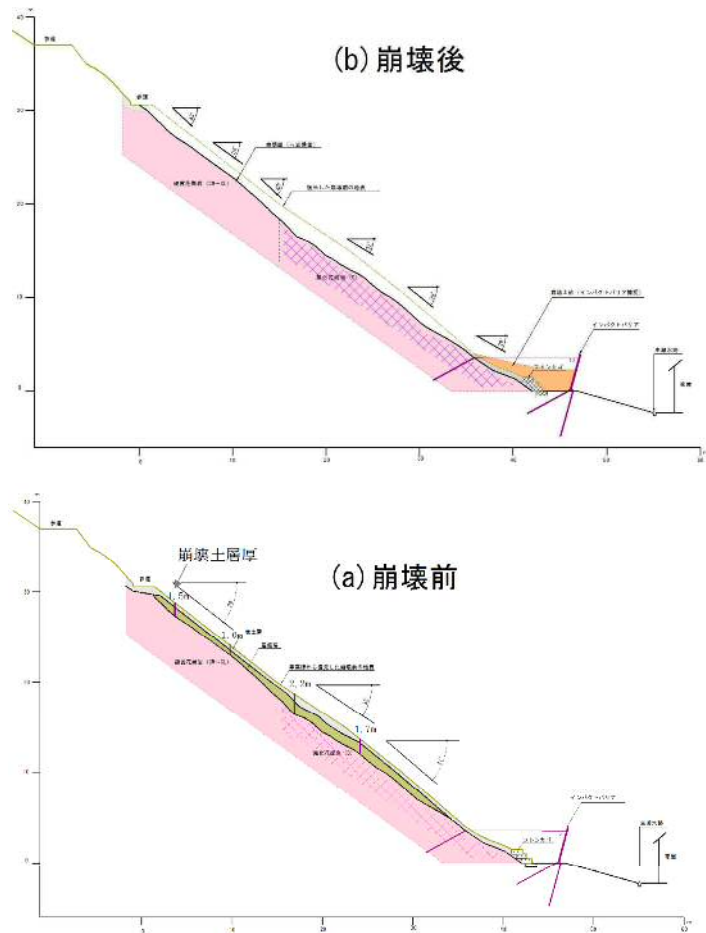


図3. 崩壊斜面の断面図

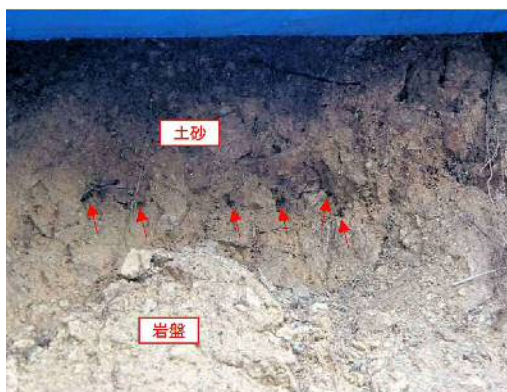


図4. 滑落崖に見られるソイルパイプ

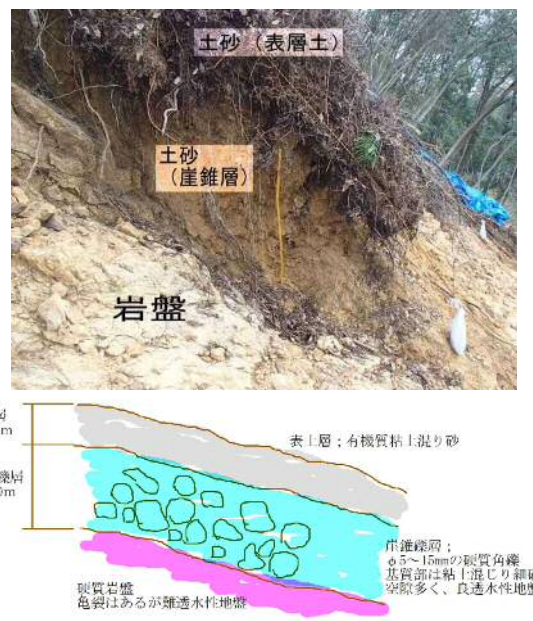


図5. 崩壊土層の構造

3-3. 被覆層の地盤強度計測

現地試験により現地の地盤強度を把握することは、崩壊時の状況を再現・原因を追及し、有効な対策を検討するうえで非常に重要である。当該地では、崩壊地盤は消失しているため、頭部滑落崖周辺の表層 40cm の表土層の地盤強度を(独)土木研究所が開発した「土層強度検査棒」¹⁾ 用いて計測した。表 1 に計測結果を一覧表にして示す。平均値は、粘着力 $c=2.3\text{kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=43.9^\circ$ であった。表土は、粘着力が小さく、内部摩擦角が大きい土質であることが分かる。

表 1. 土層強度計測結果

調査地点		深度 (m)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	$\tan \phi$
右岸	No. 1-1	0.40	3.1	46.7	1.061
	No. 1-2	0.25	2.2	48.4	1.126
	No. 1-3	0.25	2.0	48.4	1.126
左岸	No. 2-1	0.40	2.4	39.9	0.836
	No. 2-2	0.35	1.6	35.9	0.724
平均			2.3	43.9	
標準偏差			0.50	5.07	

3-4. 地下水探査

斜面崩壊の多くは、豪雨等に伴い地盤中に供給された地下水の影響により発生している。したがって崩壊機構を推定するためには、地盤中の水位の変化や地下水流の位置を把握することが重要となる。

本調査では、斜面を横断する参道沿いに 3m 間隔で 150m の区間にわたり地下水音探査²⁾を実施し、地下水流の位置を把握した。図 6 に地中音計測によって判明した地下水流の位置図を示す。グラフは、地中音をエネルギー換算 (m/s^2) したものであり、周辺よりもエネルギー量の大きいところに地下水流が存在することを示す。調査時は、冬季で地下水が少ない時期であったが、少量の地下水がソイルパイプ内を通過する音が観測できた。

地中音のエネルギー量は、西側の斜面で強い値を示す(斜面末端に湧水あり)が、2番目に強いのが崩壊地直上にあたる。これは、頭部滑落崖に観察されたソイルパイプの存在とも整合する。この崩壊地は、もともと外の斜面に比べて地下水流が多い場所であったものと考えられる。

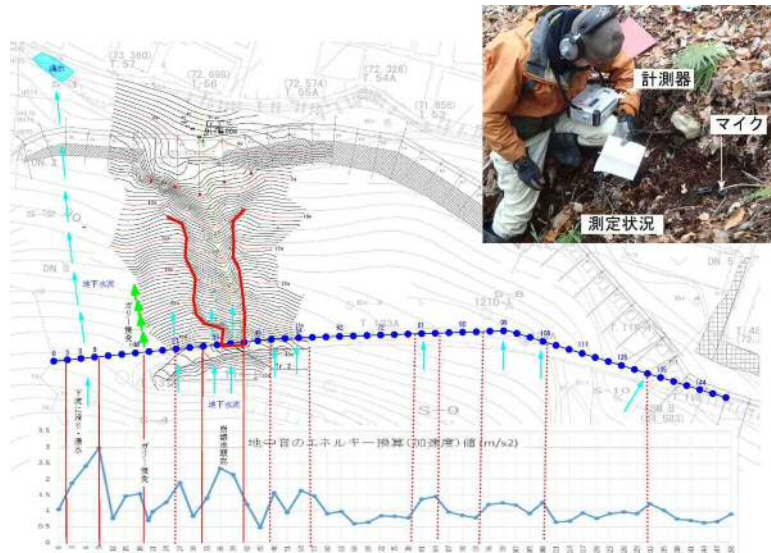


図 6. 地中音計測により判明した地下水位の位置

4. 崩壊機構の推定

4-1. 安定計算による崩壊の再現

安定計算を行う前提条件として、当該地では、崩壊地の上部に高い間隙水圧が発生し、最初に不安定化が発生したと仮定した。安定計算を行うに当たり、地形計測から得られた崩壊面の形状に、崩壊前の地表線や表土と崖錐層との境界線を推定・復元し、崩壊前の地盤状態を再現した。この地盤モデルと、現地で計測した地盤強度を用いて地下水位が無い状態で安定計算を行うと、図 7 に示すように最小安全率が $F_s=1.61 > 1.00$ となり、40 度前後の急斜面であるにもかかわらず、十分な安定性を有していることがわかる。

しかし、豪雨時には、角礫主体で間隙率が高い崖錐層内に地下水が供給されたものと考えられる。そこで、徐々に地盤内の地下水位を上昇させて試算したところ、図8に示すように崖錐層 (dt2) 上面よりも若干地下水位が高く、表土層 (dt1) 内に地下水が若干かかるような状態で、 $F_s=0.99$ と試算された。このことから、崩壊は崖錐層内が飽和状態になったときに発生したものと推定される。

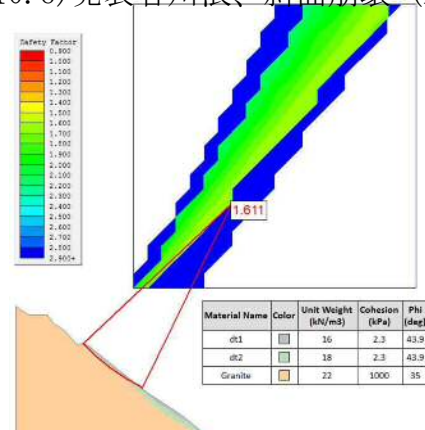


図7. 通常時の安定計算結果

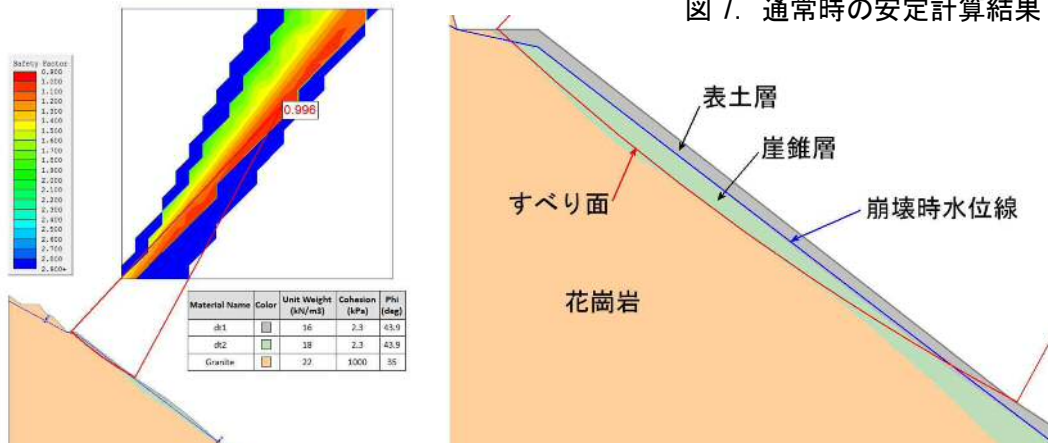


図8. 崩壊時の地下水条件 (崖錐層が地下水で飽和されたとき、 $F_s < 1.00$ となる)

4-2. 崩壊機構の推定

当該地における斜面崩壊は、平成26年の台風11号の通過に伴う豪雨時(8月8日~11日)に発生した。アメダスデータでは、日降水量は8月9日~10日で279mm(歴代3位、4位)、1時間降水量では8月10日に47.5mm/hを観測している(歴代第2位)。

現地調査ならびに安定計算による崩壊の再現、降水情報を踏まえると、当該地の崩壊機構は次のように推定される。これまでに経験した最高レベルの記録的豪雨に伴い、崩壊地頭部付近からのパイプ流により大量の地下水が土壌中に供給され、通常であれば間隙が多く排水能力も高い崖錐層が飽和状態となり、斜面の安定度が低下し、崩壊が発生した。

5. おわりに

崩壊機構を推定するには、現地の地形・地質、地盤強度、地下水の状況を読み解くことが重要である。本発表では、いずれも現地で簡易に計測できる機器を用いてこれらの情報を収集し、斜面の崩壊機構を解析した。本発表が、災害時など緊急的な対応が必要な際の一助になれば幸いである。

【質問事項】

- ・ 崩壊が発生した箇所からはどのような情報を引き出すのが良いでしょうか？また、崩壊が発生する斜面を予測するためには、どのような調査を行えば良いでしょうか？

<参考文献>

- 1) 土木研究所 (2010). 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル (案)
- 2) 多田泰之ほか (2007). 地中水みちと崩壊発生位置の関連性 砂防学会誌, 60, 4, 25-33