

## 花崗岩地域で発生した地すべり調査事例

株式会社ダイヤモンドコンサルタント ○伊東 陽希、鏡原 聖史、岡崎 敬祐、日比野 共希  
兵庫県神戸県民センター六甲治山事務所 橋本 志信、高瀬 光郎、林 一部

## 1. はじめに

花崗岩分布地域では、深層風化が著しいこと、表層崩壊が多発することがよく知られている（例えば、<sup>1)</sup>）。

一方、風化部がゆるみ岩盤となり比較的規模の大きい地すべりを発生させることもある「鶴沢ほか、2012」<sup>2)</sup>。

本稿では花崗岩分布地域で発生した地すべりに対して、多種多様な調査・観測を実施し、地すべり発生の素因及び誘因、対策工検討を行った事例について報告する。

## 2. 調査地の概要

図-1 に調査地の概要図を示す。調査地は六甲山山頂部の準平原平坦部の縁に位置しており、平成 30 年 7 月豪雨（連続降水量 913mm、最大時間降水量 47mm）により幅 50m、斜面長 90m の範囲（図-1 の赤太線部）で谷側に向かって地すべり変形している。また、地すべり発生と同時期に地すべり側部（図-1 のピンク太線部）において幅 20m、斜面長 50m の範囲で崩壊が発生している。下流域には既設の治山ダムがあり、崩壊により流下した土砂のほとんどが捕捉されている。

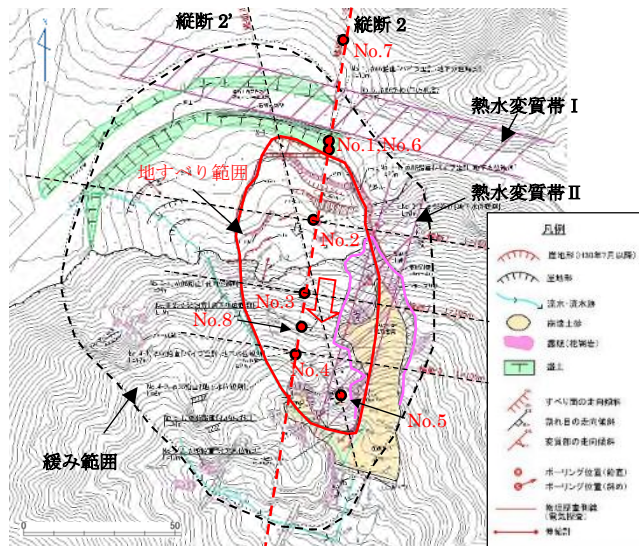


図-1 調査地の概要図

「東ほか、2021」<sup>3)</sup> による既往調査結果では、本調査地は地すべり変形前より準平原の縁ですでに浸食やクリブ変形していたと推定されている。

さらに、航空レーザ測量データを用いた差分解析により地すべり範囲において地すべり頭部の沈下や末端部の押し出し等の顕著な変動が認められるとされ、現地踏査による地すべり頭部の明瞭な滑落崖、階段状の段差地形、末端部の押し出しによる既設の石積の開口変形等を確認している。崩壊部はコラストーンの崩壊により下流側で

巨礫が多数確認しており、土塊内においては地表に平行なシーティング状の割れ目も所々確認している。また、地すべり側部の崩壊箇所においては移動土塊と不動地山の境界付近に幅 10cm 程の軟質なスメクタイトを伴うすべり面と考えられる礫混じり粘土を確認している。

## 3. 詳細調査・観測結果

詳細調査では、地質・地盤特性やすべり面深度及び地下水分布特性を把握するため比抵抗二次元探査（5 測線）、ボーリング調査（8 箇所）、多点温度検層、1m 深地温探査、地下水水質分析（イオン分析）、動態観測（パイプ歪計、孔内傾斜計）及び地下水位観測を実施した。

比抵抗二次元探査やボーリング調査の結果、深度 20m 付近まで風化が進んでいることが確認された。さらに、深度 9m 付近に粘土混じりの破碎構造が確認されたことや高比抵抗部が断面的に連続することなどから、深度 9m 付近が平成 30 年度 7 月豪雨にて滑動したすべり面であると考えた。また、地すべり背後に熱水変質帯 I（低比抵抗帯）、崩壊部直下付近に熱水変質帯 II（高比抵抗帯）を確認しており（図-1、図-2）、ボーリングコアにてスメクタイトを含有する高角度の粘土部分を確認した。

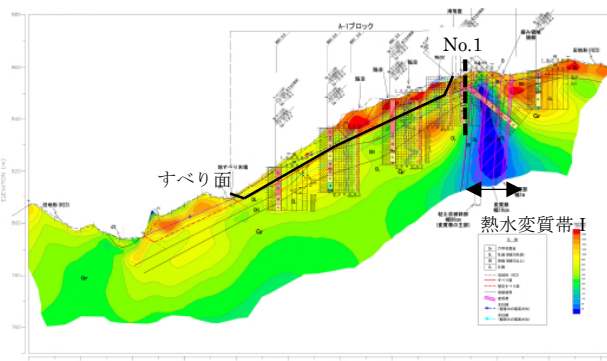


図-2 比抵抗二次元探査断面図（縦断 2）

地すべり背後の観測孔（No. 1）において降雨イベント（累積降水量 490mm）と連動した地下水位上昇が見られた（図-3 の短期変動）。また降雨がないにも関わらず 4 月頃より地下水位上昇（4m）があり、地下水位の底上げがされていることを確認した（図-3 の長期変動）。六甲山では、同様の長期的な地下水位変動が報告されており「例えば、藤本ほか、2009」<sup>4)</sup> 六甲山の特異的な地下水位変動であると考えられる。

地すべり末端部（No. 5）の水位観測孔において累積 100mm 以上の降雨イベントに連動した孔内水位上昇を確認することができ、想定すべり面深度より上部にまで孔内水位が上昇し、さらに孔内傾斜計で想定すべり面深度

で僅かなせん断性変位を確認した。

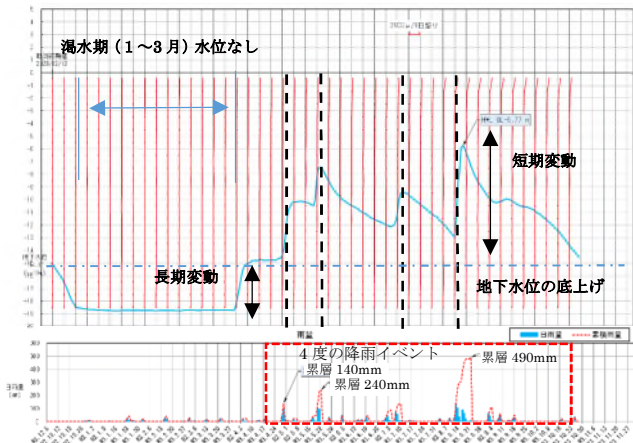


図-3 No. 1 パイプ式歪計・地下水位観測結果

イオン分析(トリリニアダイアグラムによる整理結果)より、No. 1 のみ鉱泉・温泉、化石海水でよく見られるアルカリ非炭酸塩 (IV) に属し、その他のボーリング孔及び下流部の湧水は表流水・浅層地下水でよく見られる中間型 (V) に属することが確認された (図-4)。

多点温度検層結果から地すべり背後 (No. 1) において深度 1.9m 及び 4.4m にて地下水滲出箇所が確認され、深度 18.4m にて地下水流動箇所が確認された。

また、1m 深地温探査結果から熱水変質帯 I から地すべり頭部へ流入していると考えられる 6つの水ミチの存在が確認された。

これらの地下水調査の結果から地すべり頭部 (熱水変質帯 I) からの地下水流入が考えられた。

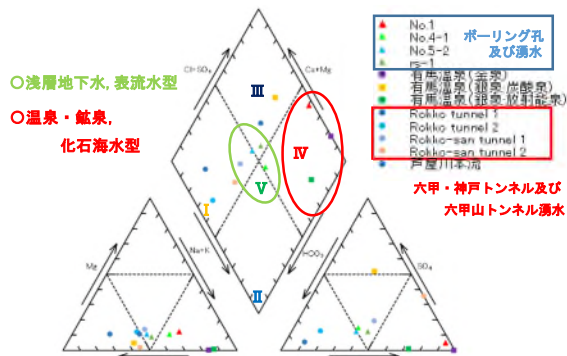


図-4 イオン分析結果(トリリニアダイアグラム)

#### 4. 地すべりメカニズムの検討

詳細な調査及び観測の結果から地すべり発生の誘因と素因の検討を行った。素因と誘因については以下の通りである。

・地形的な素因：調査地は平坦面の縁に位置しており、斜面側が過去から浸食されて不安定化しクレープ状の緩み範囲を形成しているため、不安定になりやすく地表水を集水しやすい地形条件にあった。

・地質的な素因：地すべりブロックは深度 20m 付近まで風化が進行しており、岩盤が脆弱化している。また、地すべりブロック周辺には変質帯が少なくとも 2本通っ

ており、地質的な弱部に囲まれた範囲にある。これらの地質的弱線が遮水層となり、4月から10月まで比較的水位の高い状態が持続し、豪雨時に地すべりブロック内に地下水が流入しやすい地質構造であったと考えられる。

・誘因：平成 30 年 7 月豪雨による風化帯への雨水浸透ならびに変質帯からの地下水流入などによって、地下水位が上昇して地すべり変動が発生したものと考えられる。また、豪雨による地すべりブロック左翼部の崩壊も地すべりブロックの不安定化を促進させたと考えられる。

#### 5. 対策工の検討

地すべり対策について対策工の抽出、検討を行った。地すべり頭部への地下水の流入が推定されるため抑制工として集水井を現在安定している地すべりブロック北側に設置し、地すべり頭部の地下水位を低下させる計画とした。さらに、抑制工と合わせて、複数の抑止工の比較検討を行い、施工性、景観性、経済性に優れた網状鉄筋挿入工を採用した。

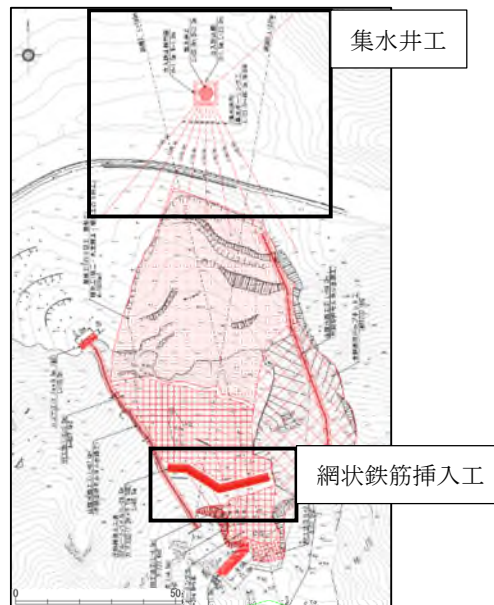


図-5 対策工検討図

#### 《引用・参考文献》

- 1) 千木良雅弘 (2002) : 群発する崩壊—花崗岩と火砕流一, 近未来社, 228p.
- 2) 鶴澤貴文, 稲垣秀揮, 小坂英輝 (2012) : 山梨県北部, 風化花崗岩における初期地すべりの変位率と内部構造, 応用地質第53巻, 論文第一号2-11頁.
- 3) 東篤義, 前嶋昭, 林一郎, 伊東陽希, 日小田稜介, 鏡原聖史 (2021) : 平成30年7月豪雨を受けて六甲山地の準平原端部で発生した斜面変形, 日本応用地質学会令和3年度研究発表会論文集, 論文 No41.
- 4) 藤本将光, 小杉賢一郎, 桂真也, 加藤弘之, 水山高久 (2009) : 風化花崗岩山地斜面における岩盤地下水の水位変動及び水質特性, 砂防学会研究発表会概要集, p396-397.