

道路斜面における地すべり災害の調査事例

株式会社荒谷建設コンサルタント 寺田 周平

1. はじめに

2023(令和5)年5月豪雨時に、道路斜面が崩壊し、幅約40mにわたって道路が被災した。地すべり頭部では最大5mの滑落崖が確認され、道路面には土塊の押出による隆起やクラックが発生し、表層斜面の崩積土が路面に流出したため、全面通行止めの措置がとられた。

地表踏査により、基盤岩である備北層群内で地すべりが発生していると想定されたため、ボーリング調査及び各種観測(パイプ歪計、自記水位計、地盤伸縮計、地表傾斜計)を実施した。各種観測データについては、リアルタイム取得できるように、自動監視システムを構築した。ボーリング調査及び観測結果より、強風化し褐色化した泥岩がすべり土塊を形成していると考えられたため、安定解析及び対策工法検討を実施した。

2. 被災の概要

被災当時、2023(令和5)年5月6日より断続的に雨が降っており、5月7日の朝に道路面に変状が発生していることを通行人が確認した。その時点では道路面の変状は軽微なものであり、車両の通行も可能なレベルであったが、その後も1日雨が降り続き、降雨が明けた5月8日の朝には、道路面の隆起やのり面から土塊が表層崩落している状況が確認された。

地すべり土塊の規模は幅50m、奥行50m程度であった。頭部滑落崖は比高約5mの段差が連続して確認され、滑落崖と移動土塊との間にも4m程度の溝状凹地が生じていた。側部においても1~2m程度の段差が連続して確認された。末端部では土塊の押出により道路において2m程度の隆起が確認された。なお、変状は反対側の斜面で止まっており、谷側の斜面等に変状は生じていなかった。



写真-1 頭部滑落崖



写真-2 頭部滑落崖(近景)



写真-3 側部の亀裂



写真-4 道路の隆起

3. 地形地質概要

当該地区は吉備高原丘陵地の北縁部に位置し、周囲は標高 500～600m 程度のなだらかな地形に囲まれている。今回被災した道路は、この丘陵地の頂部付近を切り開いて建設されている。周囲は山林が広がり、一部は果樹園などに利用されている。

岡山県地質図¹⁾によると調査地付近の基盤は中生代後期に形成された流紋岩類とされており、それを不整合関係で新生代第三紀中新世に形成された砂岩・礫岩・泥岩互層が被覆している。また一部には玄武岩の分布も報告されている。

今回の調査では、新第三紀の堆積軟岩である備北層群の泥岩が基盤岩として確認された。現地において、露頭はほとんど確認されず、頭部および側部滑落面の一部で確認された露頭は風化が著しく進行しており、原岩組織の不明瞭な地質が分布している。



図-1 調査地周辺の地質図¹⁾

4. 調査結果

4.1. ボーリング調査結果

当地区の地層は、崖錐堆積物、泥岩、砂岩で構成される。浅部は強風化した泥岩が分布しており、地すべり地内で実施した No.2～No.5 ではすべり面と考えられる褐色粘土を確認した。また、滑落上部の R5. B-No. 1 においても過去に活動した痕跡の可能性がある褐色粘土部を確認した。

表-1 地層構成

地質年代	地層名	記号	層相
新生代 第三紀 中新世	崖錐堆積物	dt	調査地の最上位に基盤岩を被覆して分布しており、地表から1～2mは黒ボクが分布する。本層は基盤岩の泥岩を起源とした土砂であり粘土状を呈している。N値は10未満と緩い層である。
	泥岩	Ms	調査地に主に分布する層である。崖錐堆積物直下では強風化し極めて脆弱である。風化部は褐色を示し、小礫が全体に分布しておりすべり破壊により攪乱されたものと考えられる。下部は原岩色の灰色を呈し、深度的に強度が増加する。低角度の層理が発達しそこから割れやすい構造となっている。
	砂岩	Ss	泥岩中に部分的に分布するが、連続性は確認されない。白色を示し砂の粒子は細かい(細粒砂岩)。なお、部分的に泥岩中に数mm程度の間隔で互層状で分布する区間があるが、不規則かつ部分的である。

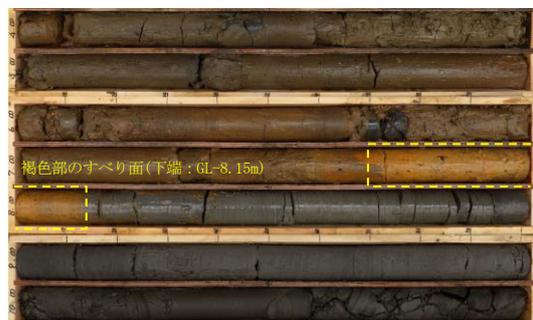


写真-5 コア写真(No. 3 抜粋)

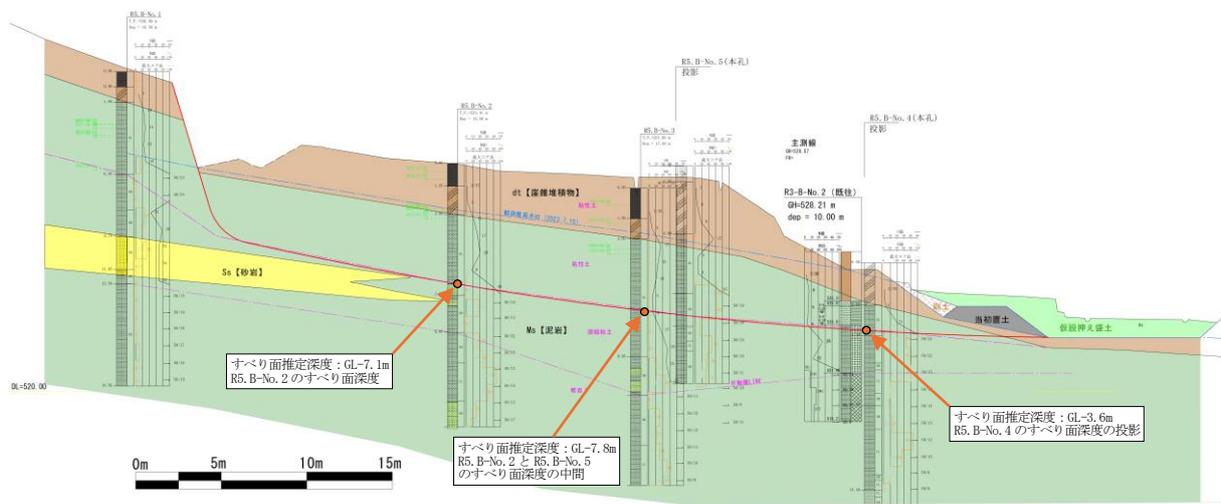


図-2 地質断面図(主測線)

4.2. 動態観測結果

地すべり観測は、地盤伸縮計(S-1～S-3)、地表傾斜計(クリノポール: CP-1～CP-5)、水位計・パイプ歪計(No. 1～No. 5)を実施した。通行止め解除後は、豪雨時等に交通規制を想定して、クラウドモニタリングシステムを用いて、現地で計測する地盤伸縮計、水位計、パイプ歪計のデータをリアルタイムで確認できる体制を整えた。

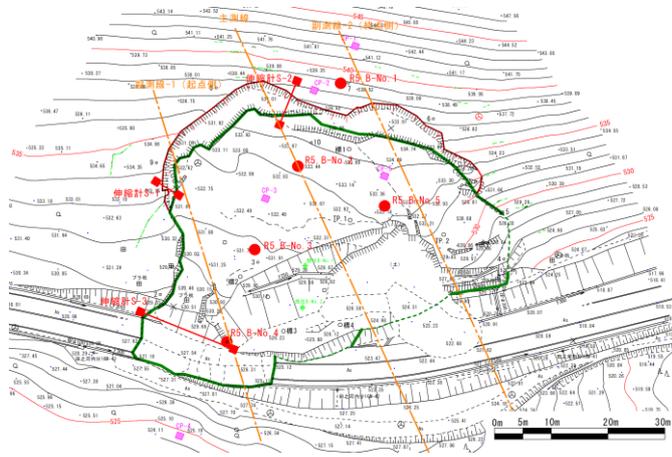


図-3 平面図



図-4 監視システム概要²⁾

梅雨時期の7月9日～10日の降雨で地盤伸縮計(S-1、S-2)、パイプ歪計(No. 3、No. 4)、クリノポール(CP-3、CP-5)に顕著な動きがみられた。No. 3及びNo. 4のボーリングコアで確認されたすべり面とパイプ歪計の変位が認められた深度は概ね一致した。また、当時ボーリング掘進中であったNo. 2、No. 5では想定すべり面深度付近において、ケーシングパイプが屈曲した。

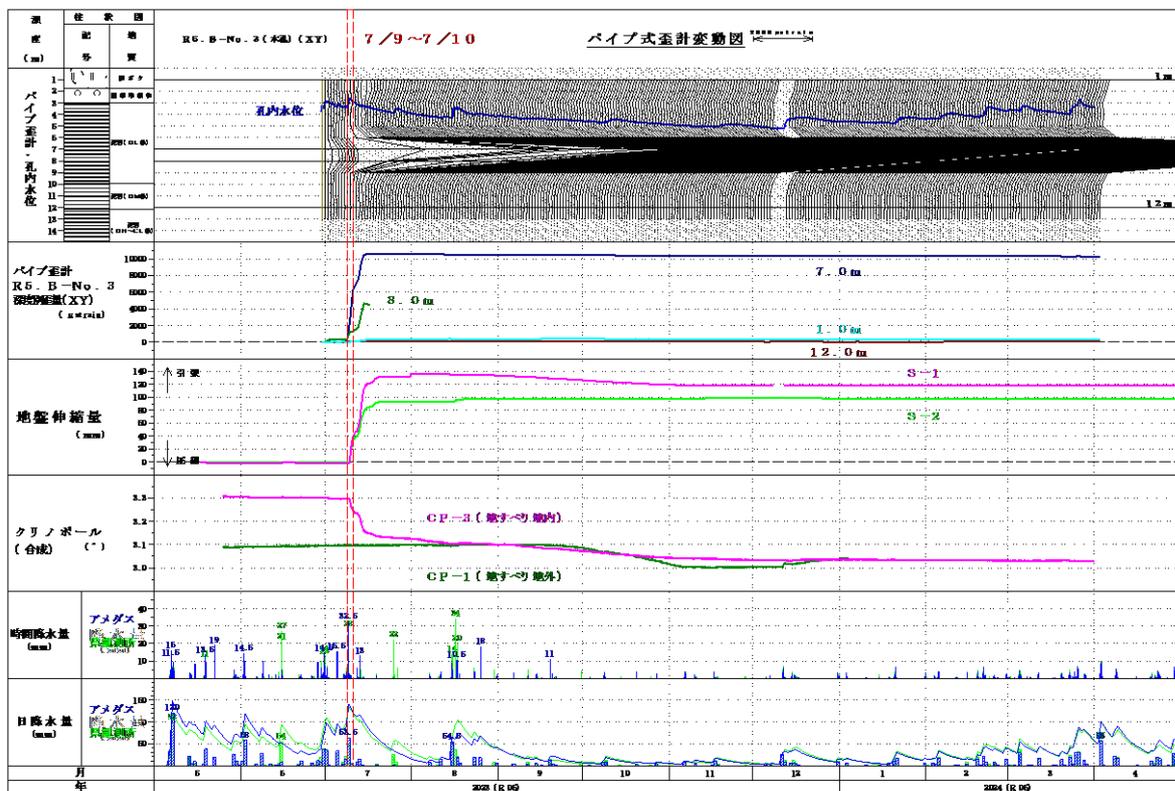


図-5 地すべり観測結果(抜粋)

5. 地すべり解析

5.1 変動特性

5月の被災以降、地盤伸縮計やパイプ歪計に目立った変動はなかったが、梅雨時期の規模の大きい降雨で顕著な変動が発生し、7月9日～19日までの約10日間変動が継続した。なお、地表傾斜計(クリノポール)も同様の傾向を示した。変動が顕著となった時点の降雨は時間28.0mmを記録し、これに伴って各孔で水位上昇が発生した。また、先行降雨の影響もあり、実効雨量は被災時と同等レベルの約150mmであった。

7月9日～19日にかけて地すべり滑動が活発化した際の地盤伸縮計S-2の時間移動量、日移動量及び時間雨量を図-6に整理した。時間28.0mmを記録した7月9日の14時以降はほとんど降雨が無かったにもかかわらず、約1日間に渡って、時間1mm以上の変動が継続した。その後、変動は沈静化に向かっていったが、7月12日の降雨(累積3mm)で再び滑動し始め、24時間移動量は最大37.4mmを記録した。

8月上旬に押え盛土による仮設道の施工が行われ、全面通行止めが解除された。なお、降雨後も変動が収まらないことが確認されたため、通行止めの基準値として、各種基準や指針を参考とし「1mm/日：注意、10mm/日：警戒、2mm/時間：通行止め」を提案した。

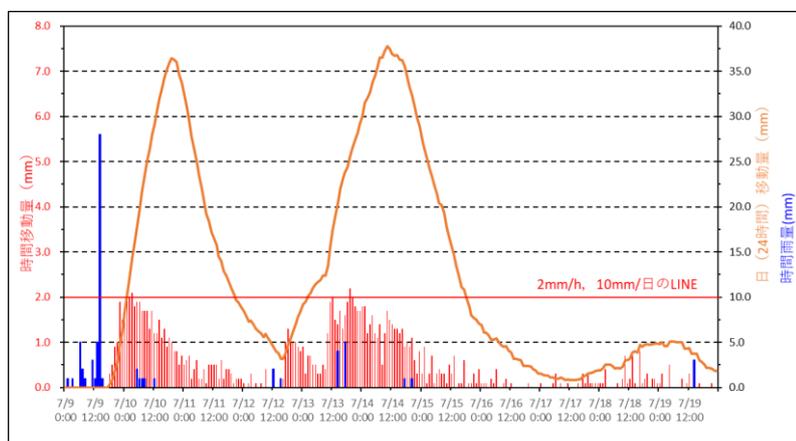


図-6 地盤伸縮計S-2の時系列データ

5.2 機構解析

ボーリングコア観察結果とパイプ歪計観測結果に基づき、すべり面を設定した。地すべりの層厚は、最大で8.19m、平均で5.34mである。

当地区の地すべりの素因と誘因については、以下のことが考えられる。

- 【素因】
- ・当該地に分布する備北層群は、浅所に広く強風化した泥岩が分布している。本層は風化速度が速いうえに、土砂化した脆弱な地盤を形成している。
 - ・不透水性地盤の上にそれよりも透水性の高い土砂化した泥岩が被覆しており、境界部付近に水が溜まりやすい状況になっている。
 - ・当該斜面の地質構造は、斜面方向にほぼ同じ勾配で傾斜する流れ盤となっており、地層面(層理面)に沿う滑動が生じやすい(流れ盤すべり)。
- 【誘因】
- ・地すべり観測結果により、降雨に伴い歪量の増大が認められることから、当該地すべりの変動と降雨は大きく関係している。
 - ・道路造成時の切土に伴い、地すべり土塊末端部の抑え荷重が減少した。
 - ・災害発生時(令和5年5月6日～7日)は、降り始めからの総雨量が150mmに達した。このような豪雨に伴い、雨水が大量に地盤内に浸透したことが地すべり発生の誘因となった。

6. 安定解析及び対策工法の検討

解析に用いる水位は、パイプ歪計等で明瞭な変位が確認された7月9日～10日にかけて記録した最高水位を使用した。また、初期安全率は降雨時に活発に変動が認められたことから $F_s=0.95$ 、目標安全率は保全対象が道路であることから $PF_s=1.20^{3)}$ とした。

すべり範囲の両端では中心の主測線とすべり層厚はほぼ同等であるが、末端部のすべり形状や土地利用条件(道路との距離)といった地形条件が異なるため、両端に副測線(図-3)を設けて安定計算を行った。

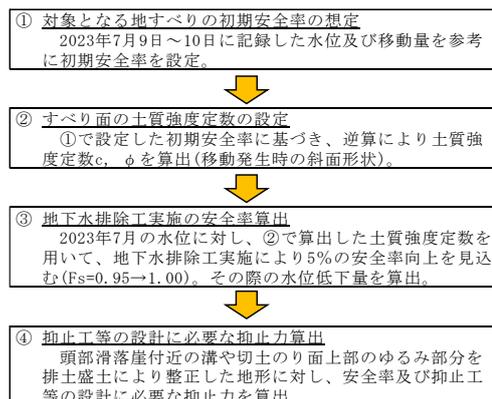


図-7 安定解析フロー

対策工法検討の結果、「横ボーリング工」、「排土工・盛土工(必要最小限の地形整正)」、「杭工」を採用することとした。横ボーリング工による水位低下工は「令和5年災害手帳⁴⁾」に従い、安全率の上昇が5.00%以内($F_s=0.95 \rightarrow$ 最大1.00)となるように計画した。排土工及び盛土工による最小限の地形整正を行い、不足する抑止力を抑止杭で満足させる計画とした。抑止杭は必要抑止力が最も大きい副測線-2の値を基本として抑止力の規模を決定した。

表-2 安定解析結果

計算断面	初期安全率	地盤定数			水位低下量 (m)	①横ボーリング工		②最終地形 (土工後) での安全率	抑止杭 $F_s=1.20$ 必要抑止力 (②より)
		C (KN/m ²)	ϕ (°)	γ (KN/m ³)		実施後 の安全率	備考		
主測線	0.95	5.34	7.4452	18.0	1.1	0.998		1.075	90.5
副測線-1(起点側)		5.74	2.1697	18.0	1.1	0.969	横Bor配置高さの制限により1.1m以上の低下が見込めない	0.949	103.8
副測線-2(終点側)		5.99	5.4241	18.0	1.4	0.997		0.965	125.8

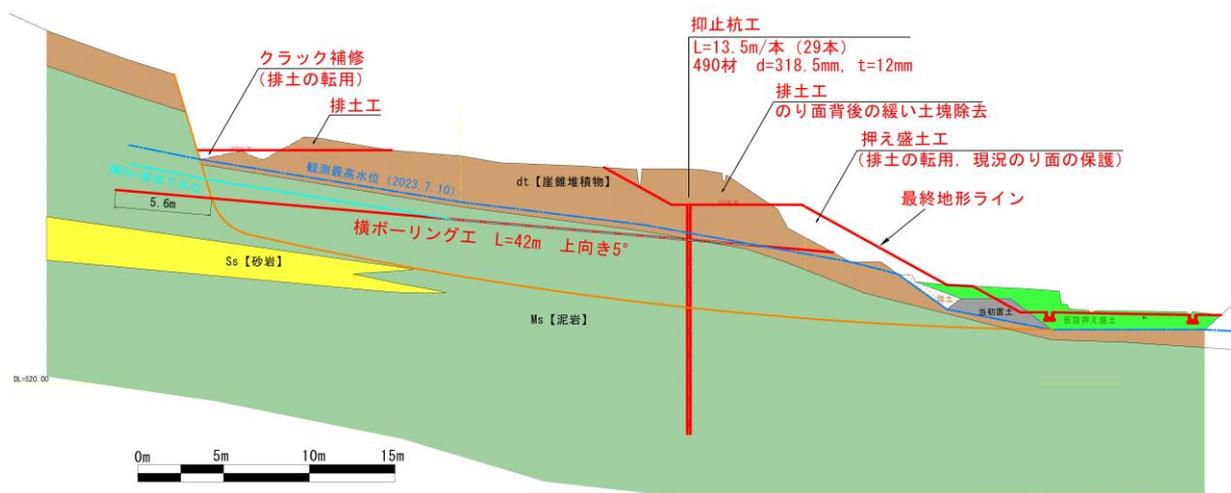


図-9 対策工の標準断面図

8. まとめ

本事例では、2023(令和5)年5月に発生した地すべり災害において、地すべり調査を実施した。ボーリングコア観察により確認されたすべり面付近において、7月の降雨時に各種地すべり観測で明瞭な変動を確認することができた。当該地は、強風化した泥岩が土砂化して脆弱な地盤を形成しており、流盤構造と呈していた。そこに雨水が大量に地盤内に浸透したことにより地すべりが発生したと考えられた。

7月上旬の降雨時に顕著な変動が発生したが、それ以降は幸いにも降雨時にも目立った変動は発生していない。現在は横ボーリング工等の工事が実施されているため、今後の降雨状況に注視するとともに、無事に対策工事が完了することを願っている。

7. 参考文献

- 1) 岡山県地質図 編集者：光野千春・杉田宗満(岡山大学)
- 2) 株式会社オサシ・テクノス HP 引用
- 3) 土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」 農林水産省農村振興局 令和4年5月
- 4) 令和5年災害手帳 一般社団法人全日本建設技術協会 令和5年7月