

【CO36】

供用開始から長期間経過後に顕在化した路面隆起の発生メカニズムについて

株式会社新協地質 ○高橋 大樹, 増村 通宏, 若杉 肇

1. はじめに

開削により造成された道路において路面の隆起が発生し、動態観測の結果、切土法面の変位も確認された。調査地は新第三紀の泥岩が分布する地域で、当該法面は流れ盤構造と推察される。また、路面の変状（隆起）は、道路の供用開始から約 25 年も経過した後に顕在化している。本稿では、応力開放に起因する風化・緩み領域の経年的な拡大に着目し、変状の発生メカニズムを考察した事例を報告する。

2. 調査地概要

(1) これまでの経緯

- 平成6年 : 道路竣工
- ～令和1年: 多少道路が波打つ程度で顕著な変状なし
- 令和2年～: 路面の隆起が顕在化

(2) 現地状況

現地では、路面隆起の他、法面の押し出し、尾根上の開口亀裂、法枠工の亀裂などの変状が確認された(図-1)。これら変状の発生原因として、応力開放に起因する切土法面のすべり破壊が疑われ、詳細調査を実施した。



図-1 調査平面図

3. 調査結果

(1) ボーリング結果

本法面には、上位より破碎質風化泥岩 (Ls)、泥岩 (Ms)、凝灰質泥岩 (tMs) の3層が分布する (図-2)。既往の地質図によると、流れ盤構造の法面と考えられる。

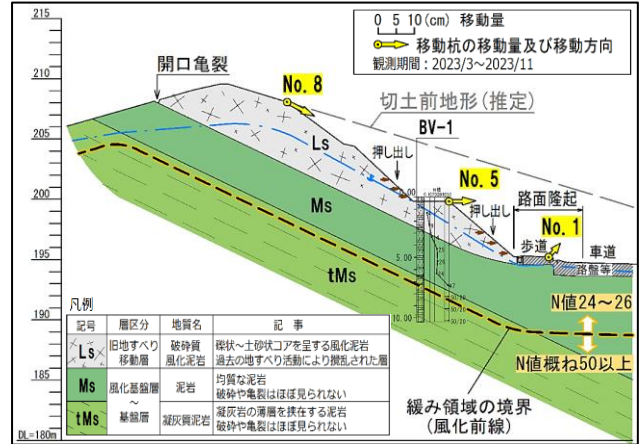


図-2 地質断面図

コアの状況から、破碎質風化泥岩 (Ls) は旧期の地すべり移動層、泥岩 (Ms) と凝灰質泥岩 (tMs) は過去に移動した経験をもたない基盤層と考えられる。

基盤層は新鮮な状態であれば N 値 50 以上を示す岩盤であるが、BV-1 地点では深度 7m 付近 (tMs の上層部) まで N 値が 24～26 程度に低下している。なお、平成4年の工事中に実施された B-1 では深度 4m 付近から N 値 50 程度以上が確認されており、本法面では切土当初に比べて N 値の低下領域が深度方向に拡大していると考えられる。また、凝灰質泥岩 (tMs) では乾燥したボーリングコアの表面に針状の結晶 (写真-2) が見られ、特に N 値が変化する深度 7.0m 付近で析出が多い傾向が見られた。

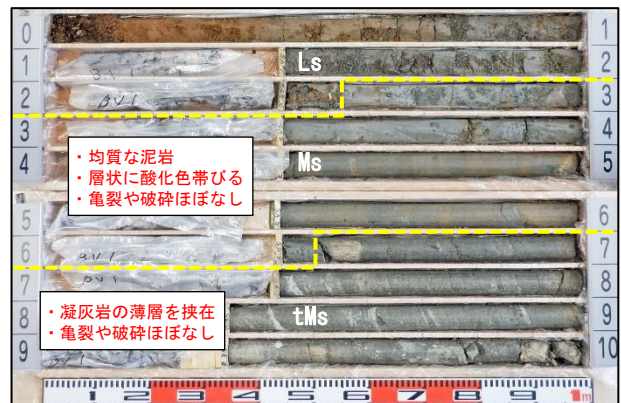


写真-1 ボーリングコア写真(BV-1)



写真-2 tMs 層表面の析出鉱物(深度7.5～7.6m)

(2) 観測結果

①地下水観測、パイプ歪計観測

地下水位は浅部 (Ls 層内) に位置し、降雨後は地表付近まで上昇する。パイプ歪計は深度3m、7m で累積変動が認められる。特に深度7m は顕著な変動を繰り返し、令和6年能登半島地震発生の際も大きく変動している。

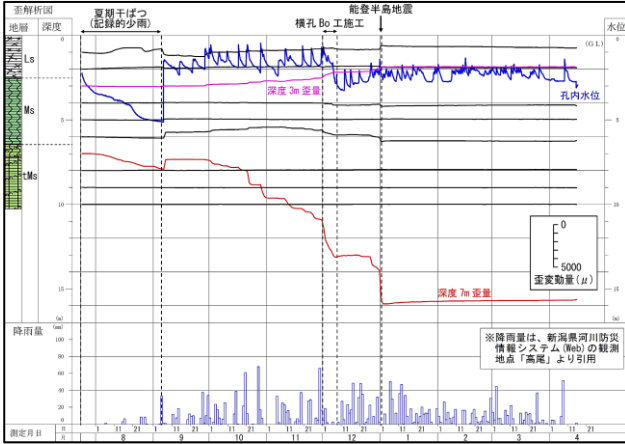


図-3 BV-1観測グラフ(令和5年8月～令和6年4月)

②移動杭観測

移動杭観測は、変状範囲を中心に計6点で実施し、うち3点 (No. 1、No. 5、No. 8) で明確な移動を確認した (図-1、図-2)。

水平変位については、いずれも南東側に移動しており、法面の傾斜方向と斜交する。この移動方向は切土前の地表傾斜方向あるいは層理面の傾斜方向を反映したものと考えられる。なお、工事中 (平成4年) に滑動した隣接ブロックもこれと同様に南東側へ移動している。

鉛直変位については、No. 1は隆起、No. 5は水平移動、No. 8は沈降の傾向が見られた。

(3) 室内試験結果

地山の膨脹性を評価する目的で、ボーリングコアを用いて CEC 試験を実施した。試験結果を表-1に示す。

表-1 CEC 試験結果一覧表

試料番号	採取深度	地層区分	陽イオン交換容量 cmol(+)/kg
No. 1	4.5~5.0m	Ms	30.4
No. 2	6.5~7.0m	tMs	27.5
No. 3	8.5~9.0m	tMs	25.5

陽イオン交換容量は、いずれの試料も20cmol(+)/kg を超えており、膨脹発生の可能性がある地山と評価される。また、No. 2の試料を用いて X 線析析を実施した結果、少量ながらスメクタイトと黄鉄鉱が検出された。スメクタイトの含有は、CEC 試験における膨脹性の評価を裏付けるものと考えられる。黄鉄鉱の含有は、その酸化により硫酸が生成されることを示唆しており、硫酸が種々の鉱物を溶解することによる化学的風化の素因になる場合もある。前述のボーリングコアの表面に析出した針状の結晶は、化学的風化の結果として生じた硫酸塩の可能性がある。

4. 変状の発生原因

現地状況と調査結果から、当該箇所に見られる数々の変状は応力開放に起因する切土法面のすべり破壊によるものと考えられる。すべり破壊は、浅いすべり (Ls 層の再活動) と深いすべり (基盤層内に発生した初生すべり) の2つが存在すると想定され、路面隆起は主に深いすべりに起因していると考えられる。深いすべりが発生した背景には経年的な地山 (Ms 層、tMs 層) の強度低下があるとみられ、応力開放による緩み、粘土鉱物の膨潤、化学的風化による変質などが地山の強度低下に大きく関与していると考えられる。

5. 路面隆起(深いすべり)の発生メカニズム

路面隆起 (深いすべり) の発生メカニズムは図-4のように考えられる。

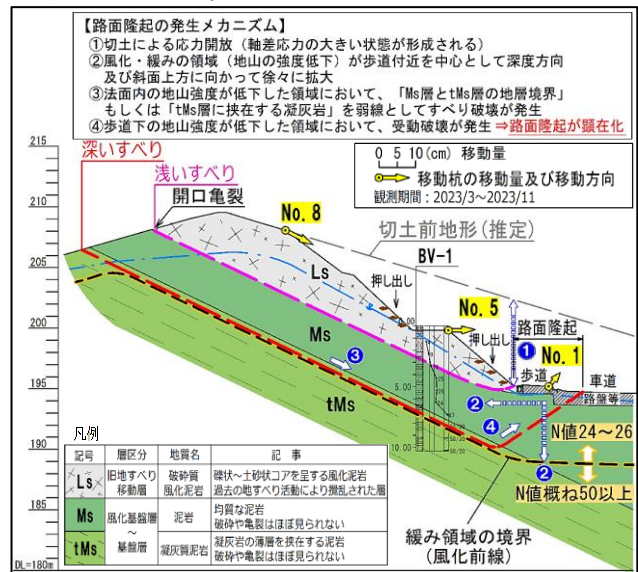


図-4 路面隆起の発生メカニズム説明図

6. これまでの対応と今後の対応方針

浅いすべりは、トップヘビーの不安定な断面形状を呈しており、突発的に滑動して車両の通行に大きな支障が出る危険性が高いと判断されたため、優先的に対策工 (横孔ボーリング工) を実施した。

深いすべりは、令和6年能登半島地震以降、歪計の累積変動がなく小康状態となっているが、今後は大雨、融雪期の観測データや現地状況を注視しながら対応を検討する予定である。

7. おわりに

本事例では、道路の供用開始から路面隆起が顕在化するまでに約 25 年も要したが、この時間的遅れは地山が強度低下する速度に関係していると考えられる。強度低下の速度は地山の応力状態や含有鉱物、気象条件など様々な要素の関与によって変化すると思われる。今後の斜面調査業務でもこのような点に着目して機構解明に取り組んでいきたい。