

たわみ性トッピングの調査と自動計測

(株)愛媛建設コンサルタント 吉岡 崇

1. はじめに

愛媛県上浮穴郡久万町内の一般国道 380 号線の切土斜面において発生した岩盤のたわみ性トッピング調査事例について紹介する。

斜面の変状は平成 14 年 1 月に発見された。伸縮計等の観測から、変状には明らかな加速傾向が認められ、大規模な崩壊に至ることが懸念された。しかし、当該路線に迂回路はなく、交通を一部確保したまま、応急対策を行なわざるを得ない状況にあった。このため、安全性確保の視点から、データの収集を自動化し、解析処理を迅速に行なう必要があった。



図-1 調査位置図

2. たわみ性トッピング

トッピングといえば、柱状節理の発達した安山岩のような硬いものをイメージする。

粘板岩や黒色片岩などの泥質岩で、片状構造が高角度で山側に傾斜しているようなところでは、河床近くの新鮮な部位に対して、風化の進行した山腹で緩傾斜の片状構造が観察されることがある。

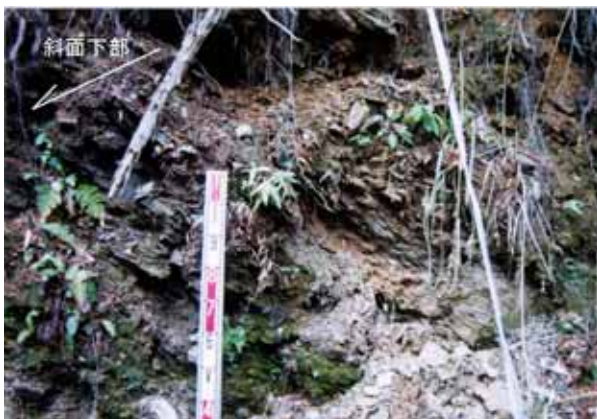


写真-1 地表付近のクリープ状況

横山・柏木(1996)¹⁾によれば、このような構造は、重力の作用で岩盤が谷側に向かって傾動し、谷側への非対称な曲げ褶曲が形成されるためとされており、岩盤クリープ性地質構造と位置付けられている。本題の“たわみ性トッピング”は、このような岩盤クリープ性の曲げ褶曲をイメージしたものである。

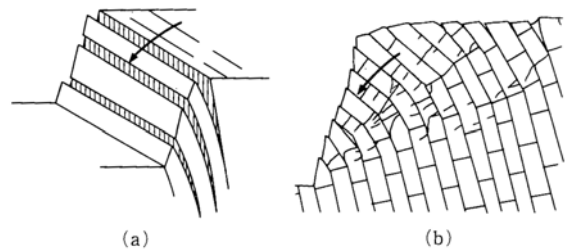


図-2 たわみ性トッピング崩壊²⁾

3. 対象斜面の概要

対象斜面は、一級河川仁淀川水系久万川支線二名川が大きく蛇行する南側斜面の尾根部であり、道路改良に伴って約 20 年前に痩せ尾根の鞍部をオープンカットした箇所である。周辺には河成段丘が発達し、道路は、段丘から山地へと移り変わる傾斜変換点付近を通過している。



写真-2 対象斜面の状況

変状発見当初、切土のり面の吹付モルタルに無数のクラックが発生し、一部は崩落しており、吹付けのり枠工の座屈、傾動、張コンクリート工にクラックが発生するなどの被害のほか、背後の自然斜面には無数の割れ目 (rupture) が確認された (写真-2, 写真-3, 写真-4 参照)。



写真-3 のり枠の傾動

自然地盤に発生した割れ目のうち、最も奥のものは、道路から水平距離で 180m の位置にある 変状土塊の幅は、少なくとも 80m 以上の幅を有する。

人工斜面（切土のり面）は下から、勾配 1 : 0.5 の張コンクリート工（直高 5m）の上に 1 : 1.0 直高 7m ののり面が 4 段、その上の最上段は 1 : 1.2 程度の勾配、10m 程度の直高の斜面となっている。張コンクリート工部分を除く切土のり面はモルタル吹付け工が施工されており、張コンクリート工が施工されている部分を 1 段目とした場合の 2 段目と 3 段目には、F300*2000*2000 の吹付のり枠工が後から施工されている。

自然地盤に発生した割れ目の伸長方向は、当地の基盤岩である三波川結晶片岩類の片理面の走向方向に調和的である。割れ目の分布は、尾根の東側斜面にかけて多く、西側斜面に少ない。この割れ目の形状は通常の地すべりとは異なり、割れ目を挟んで前面の方が相対的に上昇し、トップリングを特徴付ける形態を示している。

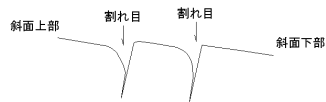


図-3 割れ目の模式図



写真-4 斜面に発生した割れ目の状況

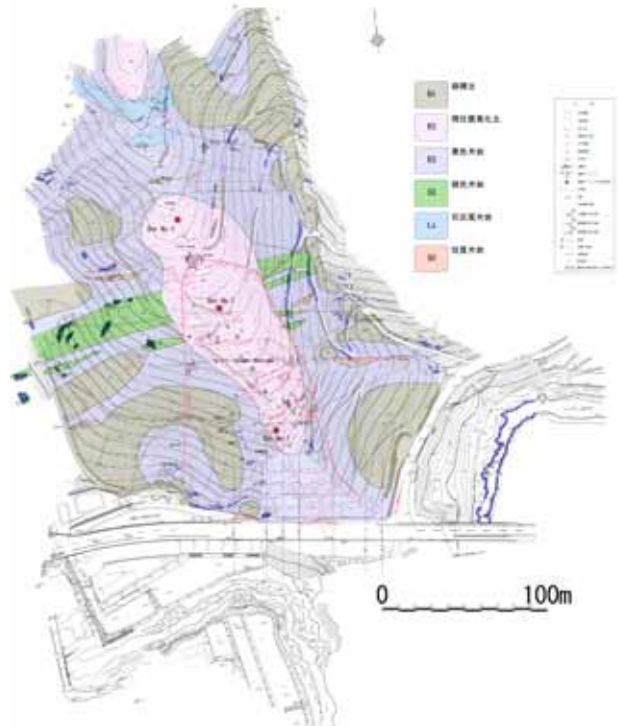


図-4 地質平面図

4. ボーリング調査と地中変位

ボーリング調査では、表層付近に崖錐性の堆積物は認められず、原位置に近い位置で生成された厚い風化残積土が認められ、この層厚は約 10m に達している。

深度 30m ~ 45m 程度まで褐色系統の色調を呈しており、厚い風化殻を有している。

ボーリングでは、いわゆる“地すべり粘土”と思しき弱面は確認されていない。当箇所は尾根地形であり、地形図から尾根全体がスライドした様子も読み取れないことから、変状土塊全体全体にわたって、連続するすべり面がまだ形成されていない可能性を示唆している。

採取された岩種は黒色片岩が主体で緑色片岩も含む。黒色片岩は非常に剥離性が強く、コアはたとえ新鮮な部分でもハンマーの普通程度の打撃で片理面に沿って分離する。緑色片岩は黒色片岩に比してコア片がやや硬質であり、新鮮部分でハンマーの打撃により澄んだ音を発する。

片理面の傾斜角度は新鮮部分では 70 度以上の高角度の部分が支配的で、風化部分では 20 度 ~ 45 度程度の角度を示す部分が多い。この片理面の姿勢の変化は、当箇所の変状の機構を示唆するものと考えられる。

図-5 に示す挿入式孔内傾斜計による動態観測では、ボーリングで確認された新鮮部分より、上部の土塊の傾動を捉えている。

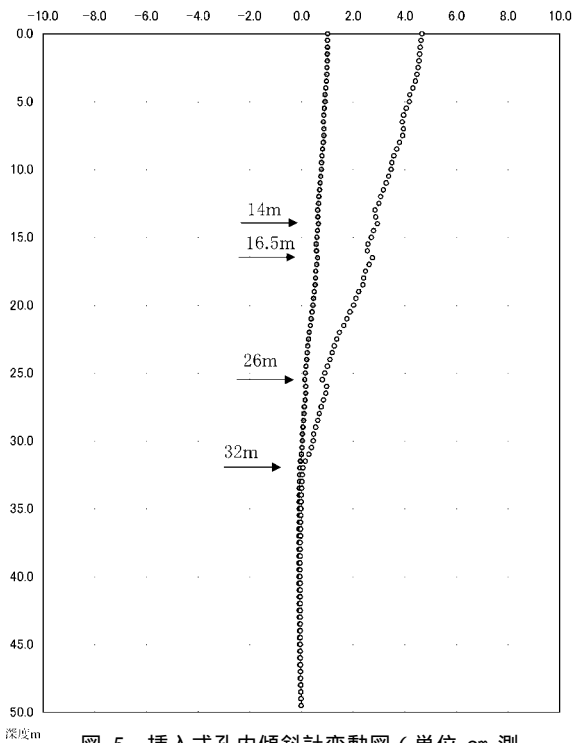


図-5 挿入式孔内傾斜計変動図(単位 cm 測定間隔は2日間)

5. 物理探査

弾性波探査の結果, 表-1 の速度構造が得られた. このうち 2.3km/sec の速度値で区分される第3速度層が厚く, 深部まで風化が進行している.

表-1 弾性波速度層と地質状況

弾性波速度層	速度値 Vp (km/sec)	層厚 (m)	地質
第1速度層	0.3	2~5	表土・崩積土
第2速度層	0.6	5~15	残積土・強風化岩
第3速度層	2.3	20~30	強風化岩・風化岩
第4速度層	4.5		弱風化岩・基盤岩
低速度帯	2.0	幅20	断層破砕帯の可能性あり.

高い比抵抗値を示す部分が受け盤構造をなしている様子が読み取れる. これは, 黒色片岩中に存在する珪質部に相当すると考えられる.

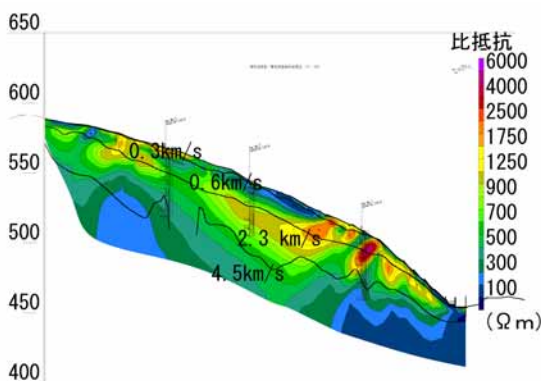


図-6 弾性波探査及び電気探査の結果図

6. 自動観測システム

観測システムの基本構成は観測機器と通信制御機器からなる.

観測機器と通信制御機器の接続は有線で行なった. 商用電力が道路に沿っており, 観測機器・通信制御機器の電源はこれを使用した. また, 電話回線が商用電力と併走しており, 通信制御機器と端末機のデータ通信はモデムを介して一般電話回線を使用して行った.

観測機器は, 表-2 に示すように, 自動追尾・自動視準トータルステーション(光波測距儀)をはじめ, 12基の伸縮計, 監視カメラ, 断線センサー, 雨量計, 水位計を使用した.

表-2 観測機器一覧

自動観測に使用した観測機器	数量
自動追尾・自動視準トータルステーション(光波測距儀)	1基 観測点8点
地盤伸縮計	12基
雨量計	1基
水位計	4基
CCD監視カメラ	1基
断線センサー	1式

7. 崩壊機構を考慮した観測機器の選定

(1)自動追尾・自動視準トータルステーション(光波測距儀)による斜面最前面の移動量の把握

トップリングの機構上, 斜面前面部の移動量以上に背後の斜面が移動することは困難であり, 斜面前面部が最大の移動量を示すと考えられる. 斜面崩壊の安全管理を行なう上で, 最も動きの激しい部分で評価を行なう必要があり, トップリングの場合には斜面最前面の移動量を把握することが重要である. このことから, 変状発生当初から実施していた光波測距儀による斜面前面の定点観測を, 自動追尾・自動視準トータルステーション(光波測距儀)を用いて自動化するものとした. 図-7 に観測点の配置を示す.

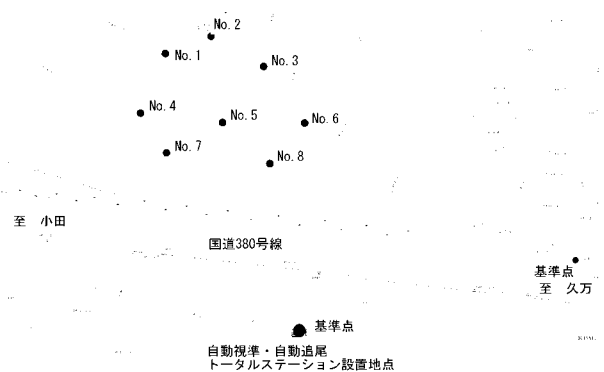


図-7 観測点の配置

(2)連続して配置した地盤伸縮計

地盤伸縮計は, 図-8 に示すように, 変状斜面を縦断するように連続して配置した. 通常の地すべりと異なり, たわみ性トッピングの場合, 地表面に多数の割れ目出現する.

道路から山側に水平距離で約 140m 地点を境に, 割れ目の分布や運動センスが異なっており, 不動部までの連続した地盤伸縮計の観測を行ない, 土塊の動きを詳細に把握することで, 移動土塊のブロック分けが可能になると考えた.

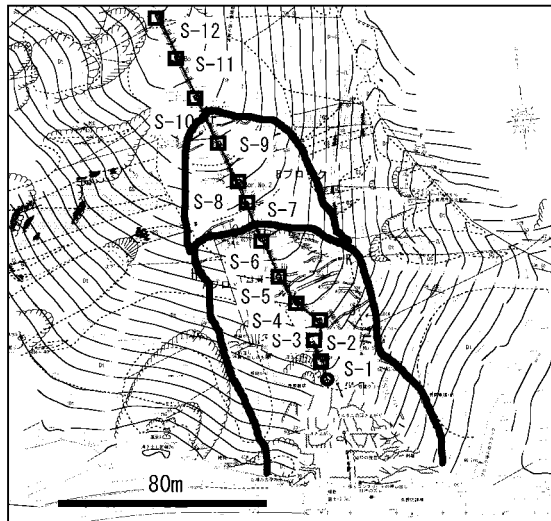


図-8 地盤伸縮計の配置

8. 観測頻度

観測は, 次の設定で実施した.

- ・サンプリング間隔: 1 時間 (動きの最も激しかった時期の地盤伸縮計のサンプリング間隔は 10 分)
- ・データ発信: 2 回/1 日 (動きの最も激しかった時期は 1 回/1 時間)

以上の設定で, 平成 14 年 3 月から観測を実施し, 対策工施工中の平成 15 年 9 月現在も一部稼動中である.

9. 観測結果

自動追尾・自動視準トータルステーション (光波測距儀) を用いた定点観測では, 平成 14 年 3 月~平成 14 年 9 月の 6 ヶ月間で斜面前面部の移動量は, 最大で 3900mm に達している (図-9 参照).

移動速度が最も大きかったのは, 3 月下旬~4 月上旬であり, この間で移動量のほとんどを記録している. 移動速度は平成 14 年 4 月 13 日に極大となり 450mm/日の移動を記録している. 累積移動量の時系列変化はつづれた S 字型のロジスティック曲線様を呈する.

連続して配置した地盤伸縮計の観測からは, 図-10 に示すように, S-7 と S-8 の移動量に大きなギャップが観測され, より活動的な前面部分と従属的な背後の部分に土塊のブロック分けがなされ, 対策工の計画に

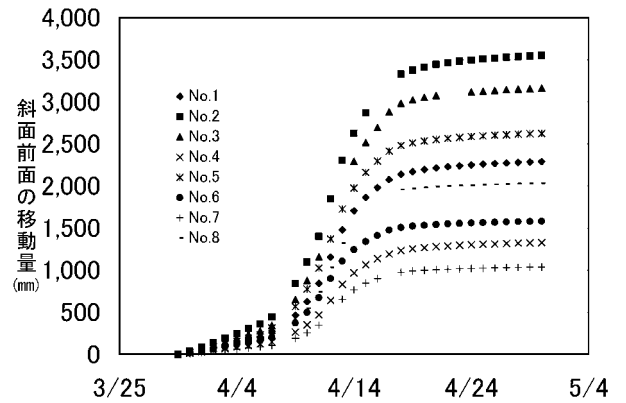


図-9 自動追尾・自動視準トータルステーションによる斜面前面部の移動量(平成 14 年 3 月 30 日~平成 14 年 4 月 30 日)

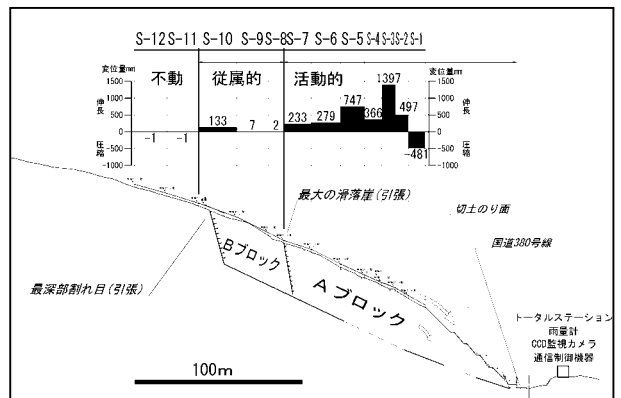


図-10 地盤伸縮計によるブロックの分割(変位量は平成 14 年 3 月 14 日~平成 14 年 6 月 30 日までの累積値)

反映された.

10. おわりに

本報告は, 愛媛県松山地方局久万土木事務所から発注された業務の一部である. 当該業務を通して愛媛県松山地方局久万土木事務所, 愛媛県土木部道路維持課, 応用地質株式会社, 独立行政法人土木研究所, 愛媛大学ほか多くの方々と議論し, 多くの知見を頂く機会を得たことに謝意を表します.

《参考文献》

- 1) 横山俊治・柏木健司 (1996) 安部川支流関の沢流域の瀬戸川層群に発達する斜面の傾動構造の運動像. 応用地質 37 pp.102-114.
- 2) 土木学会岩盤力学委員会 (1994) 岩盤斜面の安定解析と計測. 土木学会 p.6.