

トッピングによる変状箇所の特徴と機構について

(株)藤井基礎設計事務所 ○岡 淳一

藤井 俊逸

新宮 敦弘

1. はじめに

交差点部で約40mの切土を行ったところ、トッピングが発生した。地山は硬質な花崗岩で、受盤亀裂の連続性が良く、亀裂には軟らかい粘土が介在していた。トッピングは交差点方向に転倒しており、付近の亀裂からは粘土が押し出されていた。地下水位が高く、降雨時は亀裂内に水圧が作用する状態であった。対策は、岩塊が交差点方向へ転倒していたことから、コーナー部を補強して崩壊の足元に要となるブロックを作ることにした。

本稿では、今後のトッピング発生予測に役立てるため、その特徴及び機構についてまとめる。

2. 地質概要

地質は前期古第三紀の花崗岩である。本地の花崗岩は節理や断層が発達し、割れ目にはしばしば茶色の粘土を挟む。花崗岩の南北には新第三紀層が分布しており、花崗岩は間近で新第三紀の火山活動にさらされている。よって、新第三紀の堆積盆形成時には幾度も大きな構造運動や、貫入作用を受けたものと考えられる。茶色の粘土は、付近の露頭に玄武岩の岩脈が見られることから、火山活動に伴って形成された岩脈系の粘土と推定される。

3. 機構解析

調査結果を基に、本地のトッピング機構を次のように考えた。

移動量と移動方向について

図-1に亀裂の分布と、地表面の移動方向を示す。切土法面にみられる亀裂系は主に3方向（ア～ウ）で、道路に対して高角度の受け盤となる。図-1の青矢印は、定点観測による切土後の地表面の移動量である（最大28cm/5ヶ月）。伸縮計を変状の大きい亀裂に設置し、60mm/日の雨量で最大20mm/日以上の上昇変動がみられた。地表面の移動方向は、ア系亀裂に直交する方向とイ系亀裂に直交する方向の合成方向で、ほぼ交差点方向に一致する。

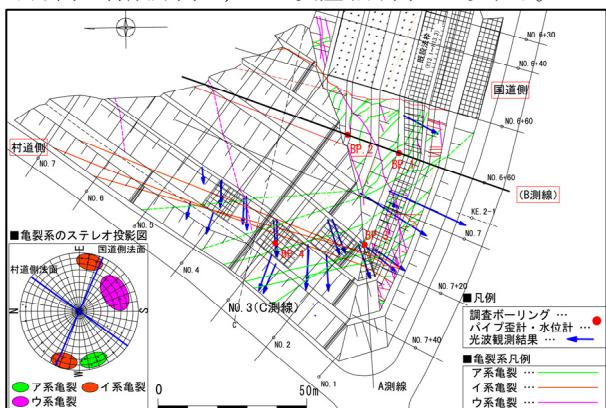


図-1. 調査平面図

交差点部は力が集中しているにもかかわらず、移動量が小さい。また、交差点部の亀裂には茶色の粘土が押し出されているのが確認される。よって、交差点部の岩塊はトッピングに対して押し手となり、崩壊全体のストッパー的な役割をする要岩塊であると考えられる。

変状の特徴について

図-2はB測線の地質断面図である。図中に粘土を挟む亀裂を示す。亀裂には図-3に示すようなトッピング特有の変状がみられる。転倒とズレにより、亀裂の下盤が上盤に対して起き上がっているのがわかる。

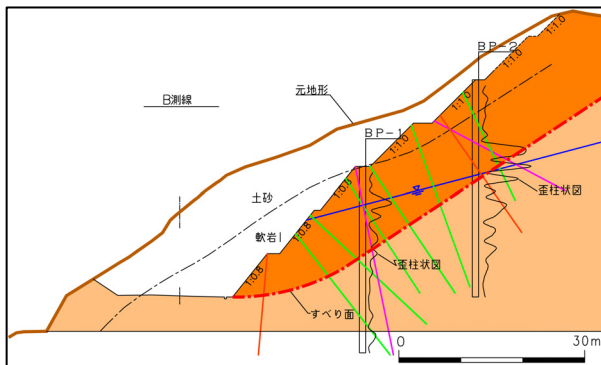


図-2. B 測線の地質断面図

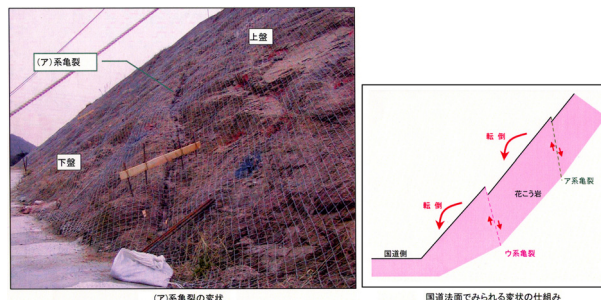


図-3. トッピングの変状写真と模式断面図

すべり面について

図-2にパイプ歪計の歪柱状図を示す。歪柱状図には多数の深度で変動が確認される。これはトッピングに見られる特徴的な現象であり、トッピングは通常の地すべりのように明瞭なせん断面（すべり面）が形成されるのではなく、幾つかの岩盤の折れ曲がりですべり面を形成するためである。よって、トッピングのすべり面の特定は困難であるが、図-4のような模型実験を基に次のように考えた。

模型実験は、グッドマンによる「ブロックトッピングの底面摩擦モデル」の実験方法を参考にした。実験によると、トッピング崩壊は広範囲のブロックが転倒し回転することによって発生しており、すべり面より深部（黄色箇所）においても変形（ゆるみ）が確認される。そ

こで、せん断帯が歪として現れたものを歪み群とし、その中で最大を示す歪み群を「最大歪み群」とした。すべり面は安全性を考慮して、「最大歪み群」のうち最も深いものに相当すると考えた。

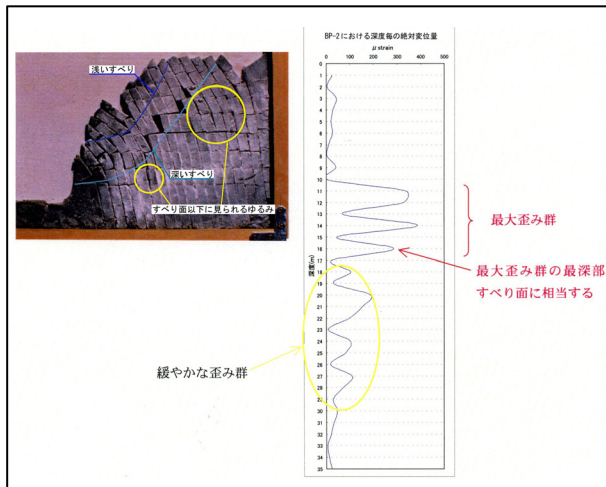


図-4. トップリング模型実験と BP. 2の歪み変位量
地下水と変動の関係について

本地の地下水位は割れ目が多い岩盤にしては比較的高い。また、降雨で地下水位が上昇すると変動がみられ、トップリングと降雨の連動性が良い。これは、降雨により地下水が上昇すると、図-5に示すように亀裂内に水圧が作用し、岩柱が押されて変状を引き起こすためと考えられる。

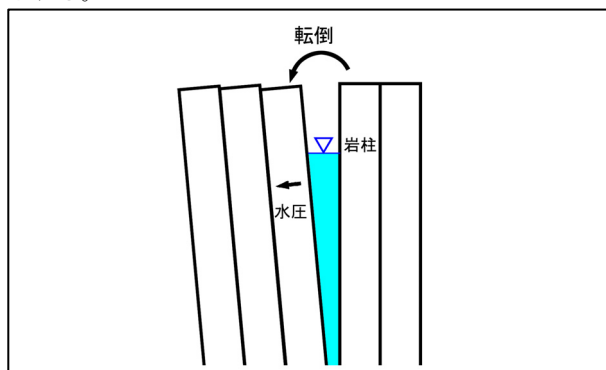


図-5. 岩柱の転倒と水圧の関係 (模式図)

以上より本地のトップリングの素因・誘因をまとめると以下になる。

素因

- ・岩脈が熱水変質を受けて粘土化していた
- ・新第三紀の構造運動による断層や岩脈が発達しており割れ目の多い地盤であった

誘因

- ・高低差40m の大規模な切土により応力開放が発生し、亀裂が分離した
- ・地下水が上昇すると亀裂内に水圧が作用し、変状を引き起こした
- ・粘土のせん断強度が低下し、岩柱がズレやすくなった

4. 対策工の設計

対策工は工法比較の結果、図-6に示すように「頭部排土+アンカー工法」とした。頭部排土ですべりの起動力

を減少させ、アンカーで末端部（コーナー部）の抵抗力を増加させ要ブロックを作り、安定化を図る。また、地下水上昇がトップリングに影響しているので、排水ボーリングによる地下水排除工を併用した。

対策工は交差点部になるので、アンカーや排水ボーリングが他の法面のものと交差しないように注意して設計を行った。

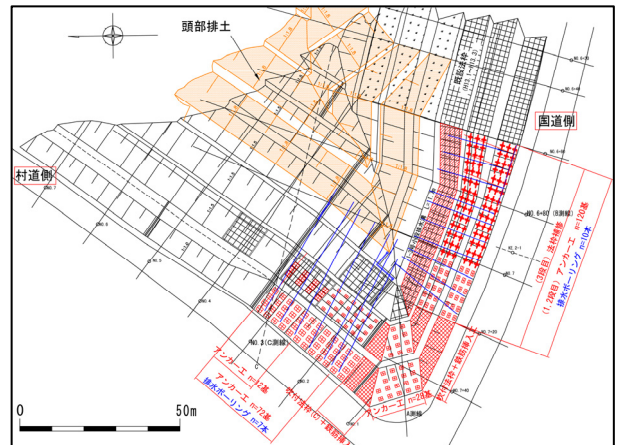


図-6. 対策工平面図

5. 竣工後

対策工工事完了後、雨の多い春～秋にかけてパイプ歪計、水位計、伸縮計を設置し、経過観測を行った。観測の結果、動きはみられず、対策工の効果を確認できた。

6. トップリングの発生予測

最後にトップリングの発生予測について述べる。以下のような現象が確認できた場合はトップリングの注意が必要である。なお、トップリングは岩柱が転倒することで発生するので、岩塊が硬質でも注意が必要である。

- ①斜面勾配が急で、高角度で連続性のある不連続面（特に受け盤）が発達している場合
- ②不連続面が開口していたり、粘土を挟む場合
- ③地山が岩盤で地下水位が高い場合
- ④断層や褶曲等が無いのに、斜面の上下で不連続面の走向傾斜が変化している場合（岩盤クリープが発生している可能性がある）
- ⑤地表面に地割れ等の連続性のある開口や、トップリング特有のズレが確認される場合

トップリングの可能性がある場合、切土を行う際に以下のような調査を行うと良い。

- ①亀裂に丁張を設置し、切れ目を入れる（トップリングは下盤が上盤に対して起き上がるので、切れ目は下板が上になるように斜めに入れる）
- ②光波などで定点観測を行う
- ③ボアホールカメラで亀裂の状態や走向傾斜を確認する（最低1本、水平ボーリングが望ましい）
- ④パイプ歪計を設置する（傾斜計よりも微細な動きを確認できる）
- ⑤歪柱状図を作成し、歪みの大きい箇所をトップリングの折れ点（すべり面）とする