

トッピング変状箇所の調査と対策について

(株) 藤井基礎設計事務所 藤井俊逸

1. はじめに

法面やトンネル坑口に岩盤が出ていると安心する傾向にあるが、急峻な地形では岩盤崩壊に注意が必要である。岩盤崩壊の場合、岩盤クリープをしている箇所と、トッピング崩壊の箇所を見極めることが大事である。トンネル坑口にトッピング現象が予想された事例を用いて、トッピング箇所の調査と対策について説明を行う。

まず、トッピングの発生原理を理解するための簡易実験について説明する。これは、トッピングにおいてイメージをつかむことが大事だからである。次に、トッピングの有無を見極めるための地表踏査について説明する。また、ボーリング調査とポアホールカメラ、トッピング変形とパイプ歪計の関係についても説明した。最後に、トッピングのモデル化と解析・対策例・工事中の観測についても説明した。

2. トッピングをイメージするための実験

今まで、模型を使ってトッピングを表現する実験を行ってきた。図-1は「紙粘土」を使って行った実験で、仮想重力を作用させて変形を見たものである。図-2は「油粘土」を使ったものである。図-3は「積み木」を使ったものである。積み木は手軽に実験できるので、トッピングをイメージするのに大変役立っている。

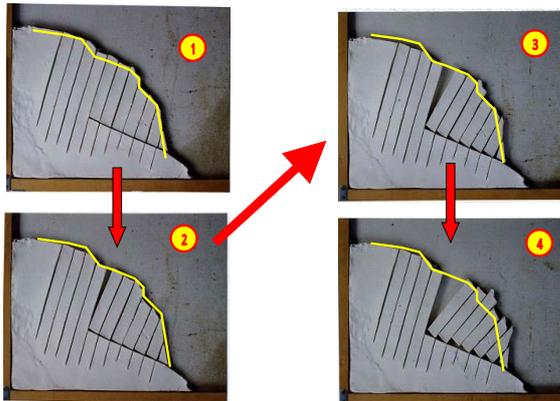


図-1 紙粘土による実験

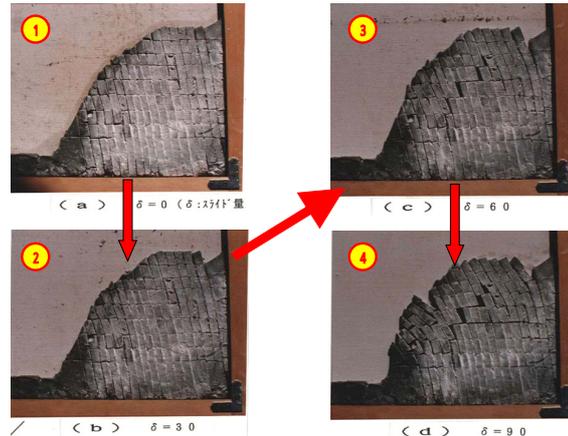


図-2 油粘土による実験

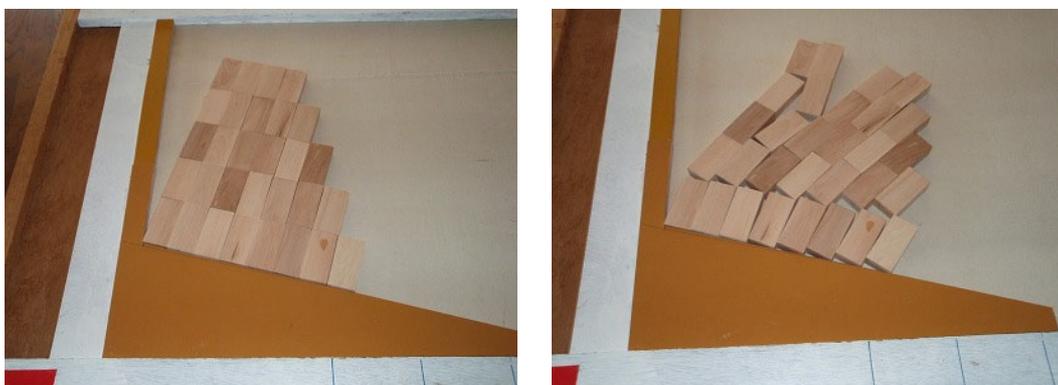


図-3 積み木による実験(左:変形前 右:変形)

3. トップリング見極めのための地表踏査
 地形的には、急峻な痩せ尾根で多く発生する。
 特徴的な現象として以下がある。

開口亀裂が直線的に連続する
 亀裂の山側と谷川の高さに着目
 山側が低くなる現象(図-4)
 亀裂の角度を調べる

高角度の受け盤で発生しやすい

トップリング転倒面の上部と下部で、傾きの傾向に差がないかを確認する。

検討地は図-5のようなトップリングの特徴的な現象が見られたため、過去にトップリング現象が発生した箇所と判断した。

4. ボーリング調査とボアホールカメラ

トップリングの場合は、縦亀裂の方向と状態の把握が大事になる。そのために、まず水平ボーリングを行い、ボアホールカメラにて岩盤の亀裂状況を確認する。図-7が実施した水平ボーリングの位置である。図-5のボーリングコアの下のは、トンネル直交方向の縦亀裂である。この亀裂と地表踏査で得られた亀裂との整合性を図-6で確認した。

5. トップリングとパイプ歪計の動き

トップリングが発生している斜面でパイプ歪計の動きはどのようになるのか？トンネル現場は変形の進行が見られなかったため、トップリングが実際に動いていた現場の事例を示す。図-9のボーリング位置に書き入れている曲線は、各深度のひずみの絶対値をプロットして、曲線で結んだものである。

図-10は、それを模型実験と照合して、考察したものである。図-10の写真は、トップリング時の岩柱の動きである。岩柱は亀裂に沿って転倒したり、ズレたりする。写真から、転倒が大きくなっている箇所の下側でも亀裂が開口したりズレたりしていることがわかる。写真の変形状況からパイプ歪計の動きを予想してみると、次のようになる。

| | |
|-------|----------------------|
| 転倒部上部 | 亀裂のズレ部に歪計があると、歪は発生する |
| 転倒部付近 | 転倒によりパイプが曲がり、歪が大きくなる |
| 転倒部下部 | 亀裂のズレ部に歪計があると、歪は発生する |

写真から想定した歪計の動きと、実際の歪計の動きはよい対応を示している。このことから、歪計を整理する際、歪計結果を絶対値で深さ方向にプロットして、トップリングの転倒面を想定するのがよい。

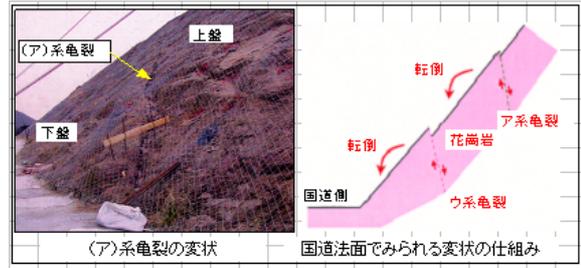


図-4 亀裂の特徴的な変形

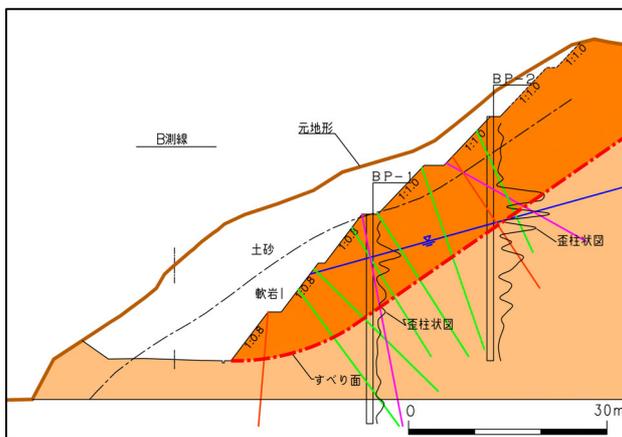


図-9 トップリングと歪計結果

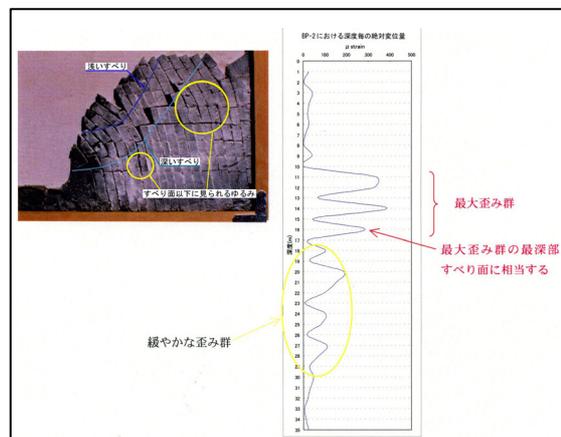


図-10 歪計結果の考察

7. 対策と施工時の計測

トンネル工事によりトップリングが発生し易くなるので、岩柱を補強鉄筋で繋ぎとめて安定化を図った。設計は岩柱同士のせん断抵抗を補強鉄筋が補うという考え方とした。

計測は仮定が多いので、トップリングの場合は、工事中の観測を実施することが望ましい。通常、ポイントとなるトップリングの開口亀裂や段差亀裂を挟んで伸縮計を設置する。伸縮計は0.1mm 程度の精度があるため、微妙な変形でも捉えることができ、工事中的変形を精度良く確認できる。

本地でもトップリングで発生したと想定される亀裂に伸縮計を設置した。トンネルの場合24時間連続で工事を行うので、動きがあった場合、関係者に確実に連絡が入るように、リアルタイムで計測しインターネット配信すると共に、2mm/時間で関係者の携帯電話に警戒メールを流した。警戒メールが流れた際は、計測結果と工事状況を関係者で確認しながら協議するように計画した。実施工事では2mm/時間に至ることなく無事、施工が終了した。

8. おわりに

近年、道路切土箇所やトンネル坑口は、問題が多い箇所が多くなってきている。地すべり箇所の想定は地形に現れるので見落としが少ないが、岩盤クリープやトップリング箇所は想定することが難しい。まず、地形図から危険性を察知し、地表踏査で確認することが大事である。その後、ボーリング調査やボアホールカメラ、パイプ歪計計測を有効利用し、その機構を把握する。模型実験などで機構の検証をしていくこともトップリングのような特殊な変形形態の場合は必要になる。

トップリングのような特殊なケースで工事をする際には、何が問題となるのかを見極め、現地に適した解析・設計を行いことが重要である。また、工事中的安全確認方法を報告書中に明記し、工事中的評価も調査・設計者が行っていくことが大事だと考える。

参考文献

- 1)岡淳一・藤井俊逸・新宮敦弘:切土によるトップリング予知のための調査方法,中国地質調査業協会「技術講習会」,2007.
- 2)藤井俊逸・岡淳一:トンネル坑口にトップリングが予想される箇所の対応事例,全地連「技術フォーラム2010」那覇、論文番号32,2010.