

トンネル坑口にトッピングが予想される箇所の対応事例

(株) 藤井基礎設計事務所 ○藤井俊逸

岡 淳一

1. はじめに

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。

本報告はトッピング崩壊が予想される箇所の事例である。まず、トッピングの発生原理を理解してもらうために、トッピングをイメージできる簡易な実験を行い、イメージをつかんだ後、調査解析を行った。

トッピングの場合は、亀裂の状態把握が大事になるので、ボアホールカメラにて岩盤の亀裂状況を確認した。その結果から、トッピング解析に必要なパラメータを整理した。トッピングの解析は、岩柱の倒れ込み力を配慮して行った。

トッピングに対する対策は、岩塊の縦亀裂を補強鉄筋でつなぎ止める対策とした。トッピング解析時の不確定要素に対して計測施工を行った。具体的には、岩盤亀裂を伸縮計にてリアルタイム計測し、インターネット配信すると共に、異常変動がある場合は、関係者の携帯電話に警報メールが入るようにした。

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。

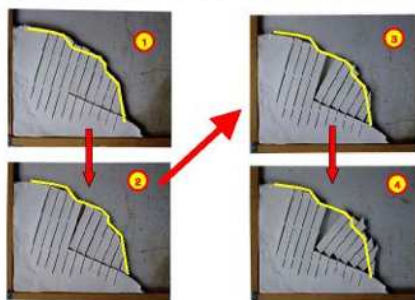


図-1
紙粘土による実験

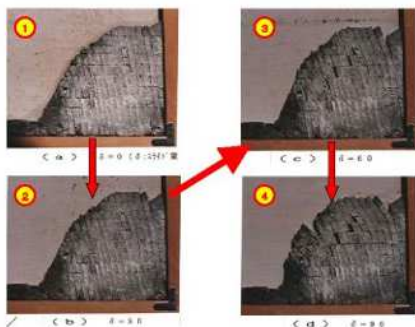


図-2
油粘土による実験



図-3 積み木による実験

3. トッピ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。

①開口亀裂が直線的に連続

②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)

③亀裂の角度を見よう

高角度の受け盤

露頭で亀裂の走向傾斜を確認し、上部と下部で傾きの傾向が異なることがある。

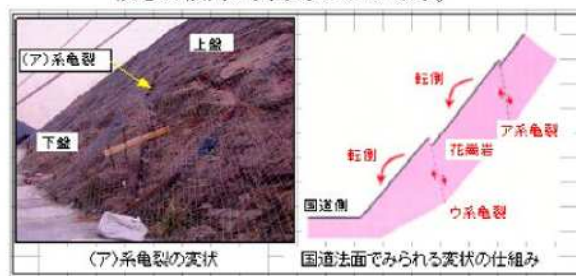


図-4 亀裂の特徴的な変形

検討地は図-5のようなトッピングの特徴的な現象が数箇所見られトッピング現象が過去に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

そこで図-7に示すように水平ボーリングを行った。トッピングの場合、縦亀裂を捉える必要があるので、水平ボーリングが有効になる。ボアホールカメラで開口亀裂幅や方向を確認した。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-5で確認した。

5. トッピングのモデル化と解析

図-7は地質縦断図に調査結果から得られた亀裂を記入したものである。それを図-8のようにモデル化した。ある程度割り切る必要があるので、亀裂間隔を図-5の結果から5mとした。本地の地表踏査の結果から、岩柱の水平割れは少ないと考え、図-8のように5mの岩柱が地表面まで連続するのものと考えた。

この条件で岩柱が倒れることを考慮して解析を行った。岩柱同士には摩擦抵抗が働くが、過去にトップリングが発生したことから、粘着力はゼロとして、摩擦角のみを考慮した。倒れようとする力に対して、この摩擦

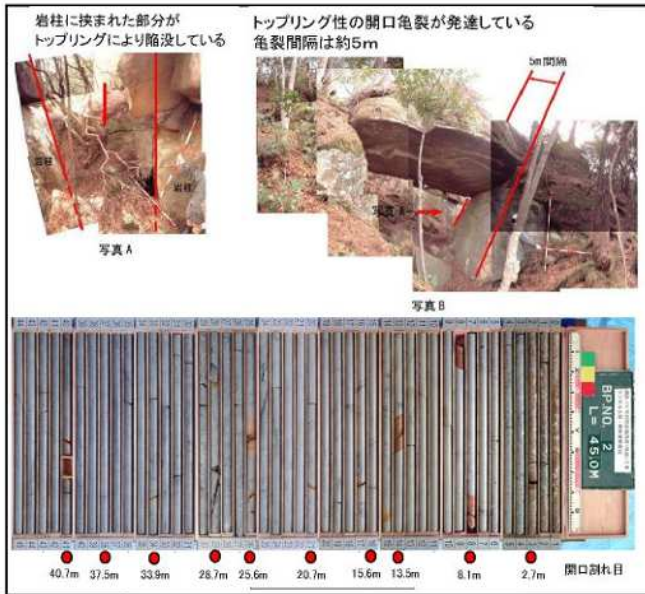


図-5 現地状況とボーリングコア

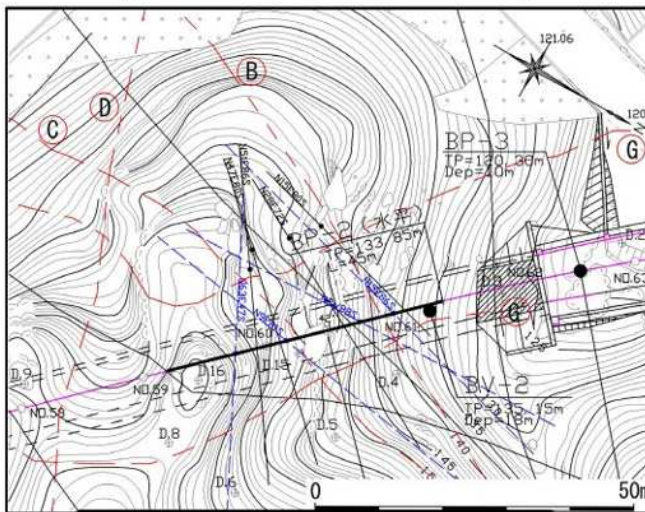


図-6 推定断層とボーリング確認亀裂

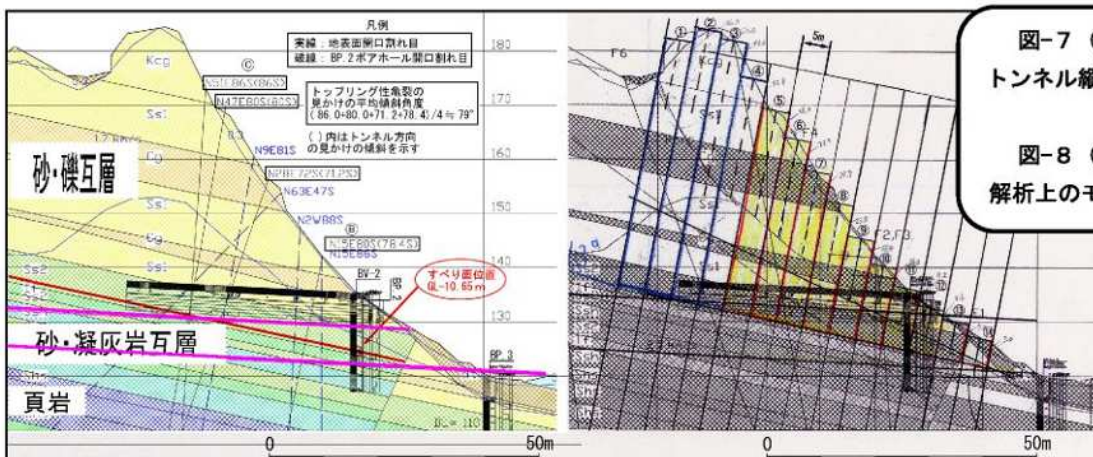


図-7 (左)
トンネル縦断面図

図-8 (右)
解析上のモデル化

力が抵抗するという計算方法とした。摩擦係数 Φ は、現況でトップリングが発生していないことから、逆算で求めた。トンネル掘削の影響の評価であるが、トンネル掘削により、掘削周辺では岩柱に割れが入るという評価を行った。具体的にはトンネル周辺の1D範囲(D:掘削幅)を亀裂間隔2.5m(5mの半分)とした。

岩柱が細くなると、トップリングが発生しやすくなるので、不安定になる。

6. 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、実施にあたっては、トップリングで発生した亀裂に伸縮計を設置した。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。

7 おわりに

近年トンネル坑口は理想的な箇所への設置が難しくなっており、急峻な箇所、偏圧作用箇所、被りの薄い箇所、崖錐地形、地すべり地形など特殊なケースが多くなっている。

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、地盤状況を的確に調査し、現地に適した解析・設計を行いことが重要である。また、工事中の安全確認方法を報告書中に明記し、工事中の評価も調査・設計者が行っていくことが大事である。