

山岳トンネルのリスク低減に関する検討（その2）

ー大変形・地すべり・山はねに関連するリスクの管理ー

大成建設 正会員 ○小原 伸高 西松建設 正会員 大谷 達彦

応用地質 正会員 奥井 裕三 レーザック 正会員 藤井 宏和

福田組 正会員 若月 和人

1. はじめに

土木学会トンネル工学委員会「山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会（部会長：神戸大学 芥川教授）」では、計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階における山岳トンネルのリスク低減について検討を行っている。ここでは「押出し・崩壊WG」における検討のうち「押出し・大変形」「地すべり・斜面崩壊」「山はね」に関連するリスクについて、その要因を整理するとともに、リスク低減に向けた提言の一部を報告する。

2. 押出し・大変形に関するリスク

トンネル掘削時に押出し・大変形挙動が発生するような膨張性地山は、押出し性地山(squeezing ground)と膨潤性地山(swelling ground)に大別されるが、実際の現象は両者を明確に区別して原因を特定することは難しく、両者の複合的な挙動であると考えられる。調査・設計段階で予測する手法は各研究者や事業者にて提案されており、地山強度比、自然含水比、液性限界、塑性指数、2μm以下粒子含有率、モンモリロナイト含有量などが主な判定指標であるが、1指標のみで精度よく予測することは困難であること、山岳トンネルではトンネル線形に沿う連続した地質情報が掘削前には得られていないことが多いことから、施工時に対処療法的に対応する場合が多いようである。

押出し・大変形が発生したトンネルで実施された対策工の分析結果を図-1に示す。これによれば、かつては押出し・大変形地山に遭遇した場合、加背を小さくしたり、いなし効果を期待したりする施工を採用するのが一般的とされていたが、近年は、補助ベンチ付き全断面工法により切羽直近で早期閉合を採用する事例が多くなっている傾向がうかがえる。また、長尺フォアパイリングおよび長尺鏡ボルトの採用も多くなっている。これは、早期閉合に伴い加背が大きくなり、切羽の安定や作業の安全確保が同時に必要となるためと推察される。近年では高耐力支保工、多重支保工の採用事例も増えている。

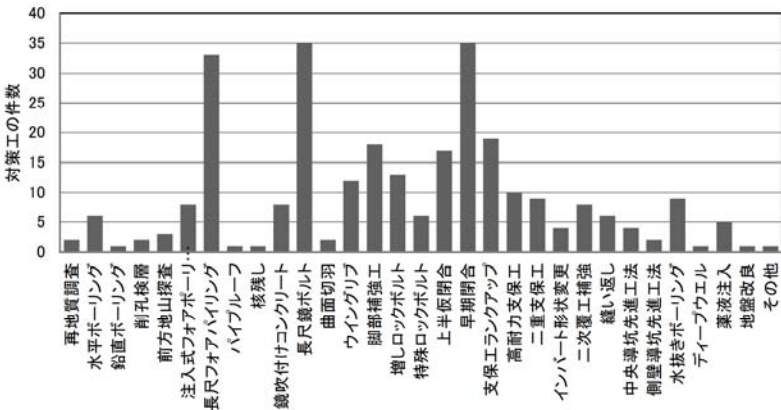


図-1 押出し・大変形地山における施工段階の対策工

押出し・大変形が発生したトンネルで実施された対策工の分析結果を図-1に示す。これによれば、かつては押出し・大変形地山に遭遇した場合、加背を小さくしたり、いなし効果を期待したりする施工を採用するのが一般的とされていたが、近年は、補助ベンチ付き全断面工法により切羽直近で早期閉合を採用する事例が多くなっている傾向がうかがえる。また、長尺フォアパイリングおよび長尺鏡ボルトの採用も多くなっている。これは、早期閉合に伴い加背が大きくなり、切羽の安定や作業の安全確保が同時に必要となるためと推察される。近年では高耐力支保工、多重支保工の採用事例も増えている。

押出し・大変形に関連するリスク要因と対策への提言の一例を表-1に示す。

表-1 押出し・大変形に対するリスク要因と対策への提言

段階	リスク要因	対策への提言
計画・調査 ・設計段階	・不適切な地山評価 ・設計時に想定していない押出し・大変形挙動	・ルート選定段階で極度な膨張性地質を避ける ・地山特性を考慮し適切な手法により設計する
施工段階	・褶曲などによる低強度地山の介在 ・地山に適した支保パターンや補助工法が選定できていない ・押出し・大変形による支保部材の変状 ・長期的に変形が継続して収束しない	・坑内からの水平ボーリングや前方探査により地質情報の把握に努める ・地山挙動を早期に把握して対策にフィードバックする ・支保工の高耐力化や多重化を検討する ・早期閉合が効果的であるが、支保工の予期せぬ不具合にも注意が必要。
維持管理 段階	・盤ぶくれによるトンネル路盤部の変状 ・地山の吸水軟化	・長期安定性評価に基づく適切なインバート形状の設定 ・地山特性に留意した横断排水・中央排水工の水処理

キーワード 押出し，大変形，地すべり，山はね，特殊地山，リスク低減

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部 TEL03-5381-5296

3. 地すべり・斜面崩壊に関するリスク

トンネルにおける地すべり・斜面崩壊のリスクとして、①崖錐に起因するもの、②傾斜層に起因するもの、③大規模地すべり、の3種類に分類して特徴を整理した(表-2)。

リスク対策の提言の一例を以下に示す。

計画・調査・設計段階：◇地すべり地形へのルート避ける。◇地すべりは地形や水系に現れており地形判読で推定できる場合が多い

(図-2)。◇坑口は有利な位置に設けることを基本とし、坑口付けの切土には注意すること。

施工段階：◇地すべり対策後も計測監視を行うこと。◇地下水位を監視しトンネル周辺の水位を上昇させないこと。◇ボーリング調査

では、できるだけ水を使わない削孔方法の採用等の検討も重要である。

維持管理段階：◇地すべり箇所を重点的に点検する。◇覆工構造を強化する(断面形状を円形にする、高強度材料の使用、フレキシブルな構造)。

4. 山はねに関するリスク

山はねは、大きな地圧によってトンネル周辺の岩盤が急激に脆性破壊し、その岩盤の一部が爆発的に内空へ飛び出す現象である。山はねの発生したトンネルを分析すると、硬岩の大土被り地山では山はねが発生しうると考えるべきであり、水平地圧が卓越している場合、亀裂・節理の分布や掘削断面形状によっては小さな土被りでも発生している。また、山はねは乾いた切羽で発生し、湧水の存在する切羽ではあまり認められないという研究報告もある。山はねの発生条件を整理して図-3に示す。

山はねによる主なリスクは「作業員の安全の喪失」「作業員退避に伴うサイクルタイムの増大」「吹付けコンクリートなどの支保の損傷」である。リスク対策の基本は、①事前に山はね発生の可能性を把握すること、②山はねから作業員を隔離・防護し安全を確保すること、③山はねの発生を抑制すること、である。①②の具体的対応としては、当該地域の地圧に関する文献調査、地表踏査・弾性波探査、ボーリングコア・ボアホールカメラ、岩石コアの物性、初期地圧測定、山鳴り、切羽前方探査・先進ボーリング、AE計測などが挙げられる。また、③の具体的対応としては、山はねに有効な支保工の適用(フリクションタイプのロックボルト、繊維補強吹付けコンクリート)、変形を許容してエネルギーを消散させる(変形性の大きい支保)、などがあげられる。

5. おわりに

ここでは、押出し・崩壊WGにおけるリスクの分析と低減対策の調査結果のうち、押出し・大変形、地すべり・斜面崩壊、山はねについて一部を報告した。現在、山岳トンネルにおけるリスク低減を検討する上で実務者にとって有用な情報を提供すべくライブラリーとして取りまとめを行っている。

参考文献

1) 上野将司：危ない地形・地質の見極め方、日経コンストラクション編、日経B P社、2012

表-2 トンネル掘削に伴う地すべり・斜面崩壊現象の特徴

リスク	地すべり・斜面崩壊現象
①崖錐 ・坑口付け切土時 ・切羽崩壊 ・地表陥没	
②傾斜層 ・掘削による緩み ・偏土圧 ・流れ盤での崩壊	
③大規模地すべり ・地すべり活性化 ・脆弱層出現 ・突発湧水 ・切羽崩壊・変状	



図-2 地すべりに特徴的な水系¹⁾

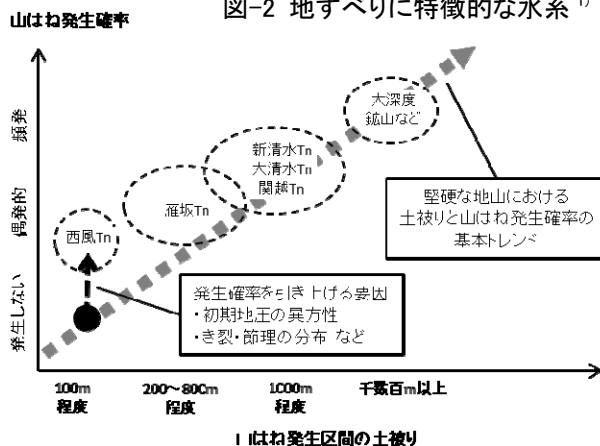


図-3 山はねの発生確率と土被りとの関係の概念図