

山岳トンネルのリスク低減に関する検討（その1）ーリスク分類と対応策についてー

(株)鴻池組 技術統括本部 土木技術部 正会員 ○山田 浩幸
神戸大学大学院 工学研究科 正会員 芥川 真一

1. はじめに

山岳トンネルの建設にあたり、計画・設計、施工、維持管理の各段階においては様々な形態のリスクが内在しており、近年の山岳トンネルを取り巻く環境の変化から、都市部での施工やトンネル断面の大断面化、特殊条件下での施工など、一旦事故が発生するとその影響はより多大なものとなることが懸念される。

このような背景を踏まえ、土木学会トンネル工学委員会 技術小委員会内に「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）を設置し、トンネルライブラリーの発刊に向け活動を行っている。

以下に部会における検討内容の一部を紹介する。

2. リスクの分類と対応

2.1 リスクの分類

現在検討中のトンネルライブラリーでは、これまでの施工実績（文献）の調査結果を参考にして、リスクの分類とその対応方法を分析・評価し、そこから学ぶべき教訓を抽出するとともに、今後の山岳トンネルの建設、維持管理におけるリスク相関、リスク低減に向けた対応策をまとめ、事業者、実務者の役に立つ提言を行っている。

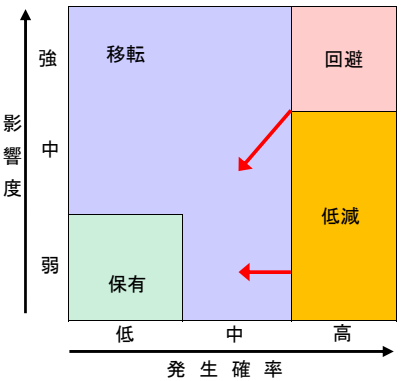


図-1 リスク低減のポジション

2.2 リスクへの対応策

リスクに対する対応としては、図-1 に示す4つの対応が考えられる。

- ①リスク回避：リスクを抱えた状態を避けるもので発生確率が高く対策が困難な場合に対応
- ②リスク低減：リスクの発生確率を下げる、もしくはリスク発生時の影響度を小さくする対応
- ③リスク移転：リスクを他に転嫁するもので例えば工事保険による対応
- ④リスク保有：リスクを甘受し発生した場合に対応する。発生確率、影響が小さい場合の対応

山岳トンネルにおける想定リスクのうち、

リスク低減の効果が期待できる検討項目として、具体的には、「押出し・崩壊リスク」、「地質環境リスク」、「維持管理時のリスク」の3つの大項目を抽出した。そのうち、「押出し・崩壊リスク」の想定リスクと施工における検討項目について表-1 にまとめた。施工における検討項目に関しては、表-1 に示したとおり、地山条件に関する要因から設計・施工に関するものまで広範囲にわたり、しかも各々の要因が複雑に絡み合っている。したがって、現場においては、施工時に維持管理を考慮したリスク要因とその対応策の関連性を的確に判断して効果的な対策工を施すことが重要となる。

表-1 想定リスクと検討項目（押出し・崩壊リスク）

想定リスク	施工における検討項目
近接施工リスク	重要構造物直下の施工リスクの検討
	既設構造物との近接施工やトンネル周辺の近接施工リスクの検討
切羽崩壊・地表面陥没リスク	計画・調査・設計時におけるリスク低減策の検討（共通リスク） 例）切羽前方探査、補助工法・対策工、トライアル計測工など
	地質（未固結・土砂、強風化・崖錐、膨張性、軟岩、破碎、層理・節理の発達した中硬岩地山）ごとに施工時の崩壊リスクを整理
押出し・大変形・盤ぶくれリスク	上記の切羽崩壊リスクとの関連性を整理
	最新の施工事例・技術動向を踏まえてリスクの検討 例）膨張性地山対策、先進導坑・長尺鏡ポルト、早期閉合など
	将来の維持管理を踏まえたリスクと対応策の検討
地すべりリスク	発生場所、原因、想定される事象、解決策、課題の整理
	地すべり評価・調査方法の限界、安全性とコスト評価、トンネル施工の緩み対策との関係、斜面モニタリング及び避難システム
山はねリスク	既往の山はね事例、発生メカニズム・条件、リスク対策の基本方針、発生確率算定における有効な手法

キーワード 山岳トンネル，押出し・崩壊，地質環境，維持管理，リスク低減

連絡先 〒136-8800 東京都江東区南砂 2-7-5 (株)鴻池組 技術統括本部 土木技術部 TEL03-5617-7790

3. トンネル工事におけるリスク低減事例

3.1 特殊地山条件とリスク低減対策

土被りが 250m を超える蛇紋岩での施工という特殊地山条件における山岳トンネル工事¹⁾におけるリスク低減対策について表-2 に示す。

本トンネルでは、事前の数値解析を用いたトンネル支保構造の検討により、「変位制御型二重支保構造」¹⁾を採用することで、大変形や支保の変状を抑制するとともに維持管理段階におけるリスク低減対策を実施することができた。

3.2 施工におけるリスク低減対策の概要

土被りが 250m を超える蛇紋岩地山でのトンネル工事において、想定リスクとしては、①大変形、②切羽崩落等の事故、③変位継続に伴う縫返し、工程遅延という項目が考えられた。

これらの想定リスクへの対応として、設計面では、従来の二重支保「いなし工法：一次支保では変位を許容して二次支保でしっかり押さえる」という考え方を発展させて綿密な計測管理に基づき、変位を制御して早期閉合（写真-1）を実施することで、一次支保にも耐力を残した状態で二次支保を設定する「変位制御型二重支保」とした。また、切羽の安定性を確保する目的でトンネル前方外周にグラウンドアーチを形成する「トンネル外周補強工」および「長尺鏡ボルト」等の補助工法を採用し、初期変位速度の抑制を図ったさらに、掘削中は切羽前方探査による地質予測や光る変位計（写真-2）による変状部のリアルタイム監視を実施した。その結果、脆弱な蛇紋岩区間 L=305.1m の掘削を完了した。なお、膨張性地山における長期にわたるクリープ変形に対して、数値解析による長期変位の予測を行い、その対応として力学的機能を持たせた鋼繊維補強覆工コンクリート（混入率 0.5%）とした。

以上述べたとおり、大変形が懸念された大土被りの脆弱な蛇紋岩地山での山岳トンネルの施工において、設計、施工、維持管理に配慮した適切なリスク低減対策を実施することができた。

4. おわりに

山岳トンネルの建設技術については、NATM の導入や補助工法における技術開発、計測技術の進歩により、施工時の安全性に関してはかなり改善されたと言える。しかしながら、施工実績（文献）から抽出された「押し出し・地山崩壊リスク」、「地質環境リスク」、「維持管理リスク」に関しては、今後も同種の施工条件であれば、リスクが顕在化する懸念がある。現在活動中の「山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会」では、山岳トンネルにおけるリスク低減対策として、計画・設計、施工、維持管理といった各段階におけるリスク相関とその対応策を事業者、実務者の役に立つ提言としてトンネルライブラリーにまとめ、平成 30 年には発刊予定である。

参考文献

- 1) 山田浩幸，高橋俊長，大村修一，高田篤：大土被りの蛇紋岩地山における最善管理型二重支保の設計と施工，トンネル工学報告集第 19 巻，pp81-88，2009。

表-2 特殊地山条件におけるリスク低減対策

対象時期	想定リスク	リスク低減対策	対策効果
計画・設計時	・押し出し、大変形 ・支保応力超過	・切羽前方探査 ・FEM 解析による照査 ・二重支保工の設計 ・補助工法の設計	・膨張性地山範囲の確認 ・安全な二重支保設計 ・補助工法の効果把握
施工時	・切羽崩壊 ・大変位発生 ・支保の変状 ・工事遅延	・変位制御型二重支保の採用 ・補助工法の施工 ・早期閉合による変位制御 ・光る変位計による監視	・大変位の制御 ・切羽の安定性確保 ・支保変状の防止 ・リアルタイムの変位監視
維持管理時	・変位継続 ・覆工変状 ・路盤コンクリート変状（盤ぶくれ）	・長期変位予測解析の実施 ・鋼繊維補強コンクリートの使用 ・長期計測の策定	・長期変位の抑制 ・覆工変状の防止 ・路盤変状の防止



写真-1 二重支保工 施工状況¹⁾



写真-2 変状部に光る変位計を設置した状況