

発破施工時の岩盤崩壊リスクとその対応方法

株式会社キタック ○星野 海斗, 江川 千洋
新潟県土木部道路建設課 久保田 陽介

1. はじめに

新潟県村上市鵜泊の国道345号は、海岸沿いの集落を繋ぐ重要な道路であるが、道路山側に急崖が迫っているため、落石や岩盤崩壊のリスクに悩まされてきた。このため新潟県では、トンネルによるリスクの回避を計画したが、トンネル掘削時(発破)の振動で危険岩体が現道上へ落下するという新たなリスクが課題となった。

本稿は、本トンネル施工時の危険岩体監視システムの構築と安全管理の考え方について発表するものである。

2. 地形地質概要

この地域は日本海に面する海岸線であり、海岸線の背後山地は急斜面になっており、脚部では日本海の風浪による浸食を受けて、随所で海食崖や海食台などの岩石海岸に特有の地形が形成されている(写真-1)。



写真-1 国道345号直近の岩体状況(現道脇は日本海)

3. 地域特性とトンネル計画

国道345号における本区間は、落石や岩盤崩壊の危険性が高い区間であり、これまでに落石や岩盤崩壊に対する対策や監視が行われてきた。その後、現道への落石や岩盤崩壊といったリスクを回避するため、新鵜泊トンネルの建設が計画された。現道と危険岩体、それに計画トンネルの位置関係は図-1の通りである。

トンネルの地質調査結果では、トンネル断面に圧縮強度45~97MN/m²以上のCM級花崗岩が分布することが明らかとなった。当初、トンネル掘削は振動を抑えられる機械掘削の採用を考えていたが、地山が非常に硬質であることから発破掘削を採用することになり、発破振動で危険岩体が現道へ崩落するという新たなリスクに対処を検討する必要が生じた。

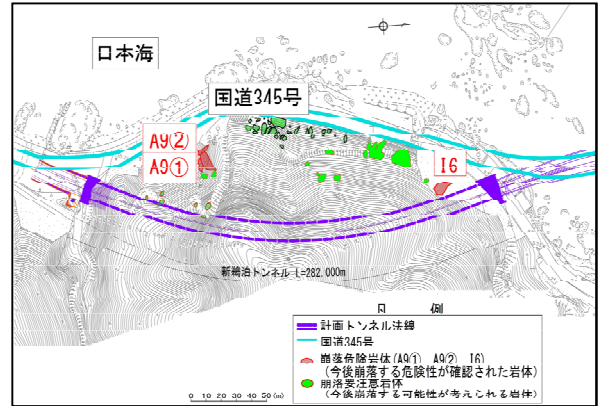


図-1 国道345号近接の危険岩体とトンネル計画平面図

4. 観測システムの検討

(1) 危険岩体の抽出

新たなリスクに対し詳細な検討を行うため、地表踏査を再度実施し危険岩体の「運動様式」、「開口亀裂の位置」、「規模」の把握を行った。結果として、当該地に分布する岩体の運動様式¹⁾は、「崩落」、「スライド(すべり)」、「トップリング」の3種類に区分され、各運動様式に応じた特徴的な開口亀裂が形成されていることが判明した。これら危険岩体のうち、対策がなされておらず、万が一崩落した際に現道に直撃する3岩体を監視対象として抽出した(表-1、図-2、図-3)。

表-1 各岩体の運動様式

岩体名	運動様式	体積(m ³)	地山との分離	トンネル離隔
A9①	トップリング	1500	十数cm(頭部)	約31m
A9②	崩落	20	数mm	約47m
I6	トップリング	470	十数cm(頭部)	約21m

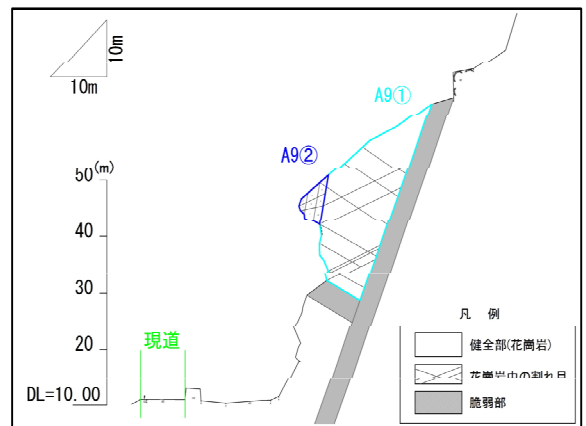


図-2 A9①、A9②岩体(トップリング、崩落)の模式断面図

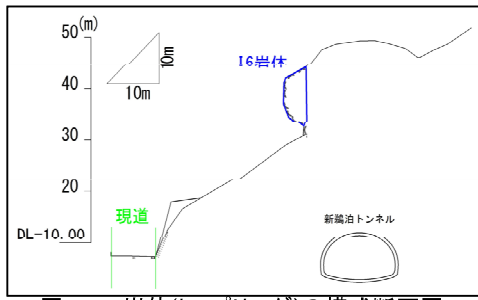


図-3 I6岩体(トッピング)の模式断面図

(2) 危険岩体に対する機器の選定

「運動様式」と「開口亀裂」に着目することで、崩壊発生の前兆現象がどこに、どのような変位として現れるかが、モニタリングする際に考慮する点となる(表-2)。「崩落」は急速に変位が進行し崩落する。「トッピング」は比較緩やかに変位が進行し崩落する。これらが崩落する前の変位量を把握するために、設置する機器を決定した。

表-2 危険岩体に対する計測機器

岩体名	計測機器	設置位置	精度
A9①	フレキシブル伸縮計	頭部の亀裂	0.06mm
A9②	亀裂変位計	背面の亀裂	0.01mm
I6	亀裂変位計	背面の亀裂	0.01mm
	フレキシブル伸縮計	頭部の亀裂	0.06mm

ただし、I6岩体はオーバーハングを形成していること、トンネル離隔が21mと短いこと、崩落した場合現道を直撃しその影響が最も大きいことから、安全側を考慮し亀裂変位計も設置して監視をおこなった。

(3) 発破振動に対する機器の選定

発破は何度も繰り返し実施されることから、非常に微々たるものであったとしても、危険岩体へどのような影響を及ぼすか不明である。これらから測定精度は発破で想定される周波数(10~200Hz)が記録でき、急崖部での設置が可能であり、耐久性が高いことなどの基本条件を検討した結果「3成分ジオフォン」を設置することとした。

(4) 目視点検による岩体の監視

監視対象とした3岩体については、真っ先に変状が現れると考えられる箇所(キープロック)にマーキングをおこない、目視点検の最重要点検箇所とした。監視対象外の岩体については、斜面下方の既存転石にマーキングをおこない、新しい落石を確認できるようにした。

(5) 観測システムの構築

監視の目安とする値の妥当性を、地すべりの管理基準値²⁾を参考に検証を行った。ただし、発破振動については、岩体への影響に不明な点が多いことから、試験発破と岩体の変位を観測したうえで目安とする値の妥当性について検証を行った。(表-3)

表-3 発破掘削時の管理基準値

岩体名	計測機器	注意体制基準	警戒体制基準
A9①	フレキシブル伸縮計	1.0mm/回未満だが、変状有	1.0mm/回を超過
	亀裂変位計	0.1mm/回未満だが、変状有	0.1mm/回を超過
A9②	振動計	—	1.9kine/回を超過
	亀裂変位計	1.0mm/回未満だが、変状有	1.0mm/回を超過
I6	フレキシブル伸縮計	1.0mm/回未満だが、変状有	1.0mm/回を超過
	振動計	—	0.5kine/回を超過
全体	—	斜面下方落石を確認	キープロックの落石

5. トンネル施工時の観測結果と得られた留意点

(1) 発破施工時の監視について

施工開始から発破掘削作業中は、国道345号を片側交互通行とし発破施工時は全面通行止めとした。発破作業後、10分以内に振動計のデータ解析、計測機器の値の確認、目視点検を行ったうえで、通行止めの解除について判断をおこなった。発破作業は多い時で6回/日実施されることがあり、その場合は休息する時間が少ないため、非常に厳しい作業となった。

(2) 発破による岩盤変位と自然変位

発破掘削開始前に約3ヵ月間のバックグラウンドデータを取得した(表-4)。これと比較した結果、発破一回の変位量はバックグラウンドの一日の変位量以下であった。発破掘削中の累積変位量はマイナス傾向が認められた。これらが一日毎、季節毎の開口亀裂の累積変位によるものか、発破によるものかを結論付けるのに苦労した。今後、岩盤の変位を計測する際には、季節変動を把握できる期間にわたりバックグラウンドデータを取得しておくことが望ましいと考えられる。

表-4 岩盤の自然変位量と発破掘削時の変位量

岩体名	計測計器	バックグラウンドデータ		発破掘削時の変位量	
		一日の変位量	累積変位量	発破一回の変位量	累積変位量
A9①	フレキシブル伸縮計	0.1mm	0.2mm	0.02mm以下	-0.5mm
A9②	亀裂変位計	0.178mm	0.398mm	0.01mm以下	-0.164mm
I6	亀裂変位計	0.062mm	0.300mm	0.01mm以下	-0.198mm
	フレキシブル伸縮計	0.1mm	0.2mm	0.02mm以下	-0.5mm

(3) 発破掘削完了後からトンネル併用までの観測結果

発破掘削完了後は、発破振動による岩体の不安定化は解消されたが、気象条件による不安定化が懸念されたため、トンネル併用まで計測機器による監視、月1回の目視点検をおこなった。この期間中は季節変動が大きく、管理基準値を再検討することが必要となったが、崩落の前兆現象を示すような変動は確認されなかった。

6. おわりに

本業務では、過去の事例から振動速度の基準値を検討したが、発破振動と岩盤崩落に関する計測事例はほとんどないことから、施工初期は発破毎に施工業者と協議を行い、安全の妥当性を確認しながら作業を行った。

本トンネルが無事に開通するまでに携わった土木事業者、地元住民の方々へ深く感謝いたします。

《引用・参考文献》

- (社)土木学会:岩盤斜面の調査と対策, 1999年10月
- 高速道路調査会:地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3), 1988年