

トンネル坑口部の大規模落石防護対策工について

PREVENTION OF LARGE-SCALE FALLING ROCKS ABOVE TUNNEL PORTAL

善光健治¹⁾・宮崎竜聖²⁾・野上隆志³⁾・宮本雅文⁴⁾・上野 悟⁵⁾

Kenji ZENKOU, Ryuusei MIYAZAKI, Takashi NOGAMI, Masahumi MIYAMOTO, Satoshi UENO

Ormi tunnel on Hokuriku-shinkansen is located on westside area of the Itoigawa - Shizuoka tectonic line, which is one of the major geological tectonic lines in Japan, with complicated geological formation structure and distribution.

The upper part of the Ormi tunnel west portal is covered with overhanging cliff about 20 meters high, and the slope above the cliff is spotted with many loose rocks and boulders. The lower portal is distributed with talus cone sedimentation and fallen rocks from the cliff.

We present the processes from our overall study, planning, selection and execution of adopted for the prevention measures of large-scale falling rocks, in consideration of topography, geology and safety during and after the construction.

Key Words: overhanging cliff, rock falling, slope survey, study, prevention measures

1. はじめに

北陸新幹線青海トンネルは、日本アルプスの北端にあたり、日本で有数の地質構造線である糸魚川～静岡構造線の西側に隣接する地帯で、地質分布及び地質構造の複雑な地域に位置している。

トンネル西側坑口の上部斜面は、多数の開口亀裂やすべり面を有するオーバーハングを呈した約20mの急崖の直下に位置し(写真-1)さらにそのオーバーハング上部斜面には広範囲にわたり浮石や転石が点在している状況であった。

(写真-2)

またトンネル坑口部付近には、上部急崖からの崩落と考えられる岩塊を含む崖錐堆積物が分布するとともに、上部斜面からのものと思われる大小多数の落石が存在していた。

このような地形状況の中、トンネル坑口付け及びトンネル掘削における施工上の安全性の確保はもちろんのこと、トンネル完成後の構造物・列車運行の安全性まで考慮した総合的な対策工事の検討が必要とされた。

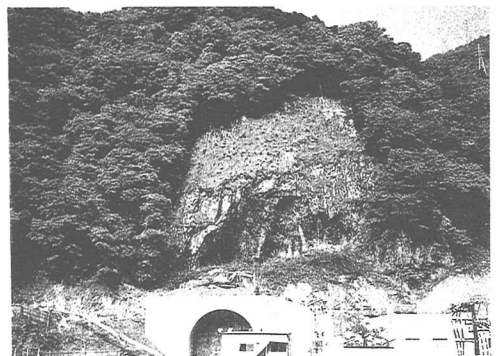


写真-1 青海トンネル西側坑口



写真-2 坑口上部斜面浮石状況

- 1) 正会員 日本鉄道建設公団 北陸新幹線第二建設局
- 2) 正会員 日本鉄道建設公団 北陸新幹線第二建設局 糸魚川鉄道建設所
- 3) 日本鉄道建設公団 北陸新幹線第二建設局 糸魚川鉄道建設所
- 4) 佐藤工業株式会社 北陸支店 土木部
- 5) 佐藤工業株式会社 北陸支店 土木部

2. 地形・地質概要

2-1. 地形概要

新潟県の西端、西頸城郡青海町歌地区は、山地が海岸線に迫った急峻な地形を呈しており、トンネル坑口はその海岸線より歌川沿いに約600m上流の右岸側に位置する。

坑口の上部には、オーバーハングを呈した高さ約20mの急崖が存在する。オーバーハングより上方の斜面は、 $45\sim60^\circ$ の勾配をもつ急斜面を呈し、坑口直上はトンネル方向と直交した等高線であることから、落石等が坑口へ直撃する可能性が高いと判断された。

また坑口付近には約 30° の傾斜で崖錐堆積物が分布しており、急崖斜面から崩落した岩塊を含み、5m程度の厚さの堆積が認められた。

2-2. 地質概要

青海町は日本アルプスの北側、糸魚川・静岡構造線の西側に位置し複雑な地質構造を呈している。

この付近の石灰岩は、変成作用による再結晶作用を受け、岩片は非常に硬質であり、割れ目の発達が顕著である。オーバーハングのある急崖部では、急傾斜の開口割れ目が多数認められ、溶蝕が進み、空隙が発達していた。

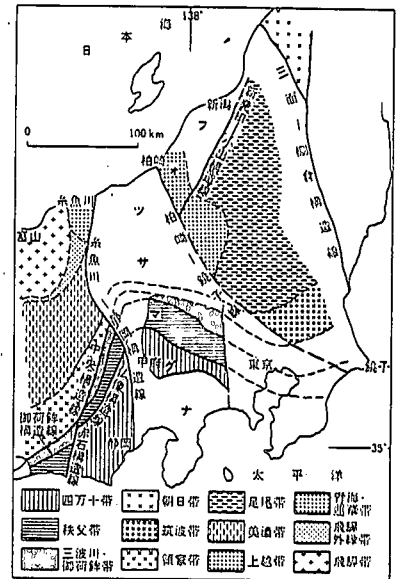


図-1 地質構造図

3. 調査・分析

このような地形・地質状況から、主眼に置くべき事は坑口直上に位置する特異地形であるオーバーハング部のより詳細な調査、そして上部斜面に広範囲に点在する落石の危険性のある浮石及び転石の分布状況とその危険度の把握であると考えられた。

3-1 調査

3-1-1 オーバーハング部

オーバーハング部は入念な観察とスケッチ作業を主体に行い、それに加え地質構造をより詳細に把握するため周辺8箇所にも及ぶ調査ボーリング、うち2箇所についてはボアホールビデオの撮影、2測線についての弾性波探査を行った(図-2)。地表面から観察される開口亀裂の走向・傾斜の確認及び介入深さを

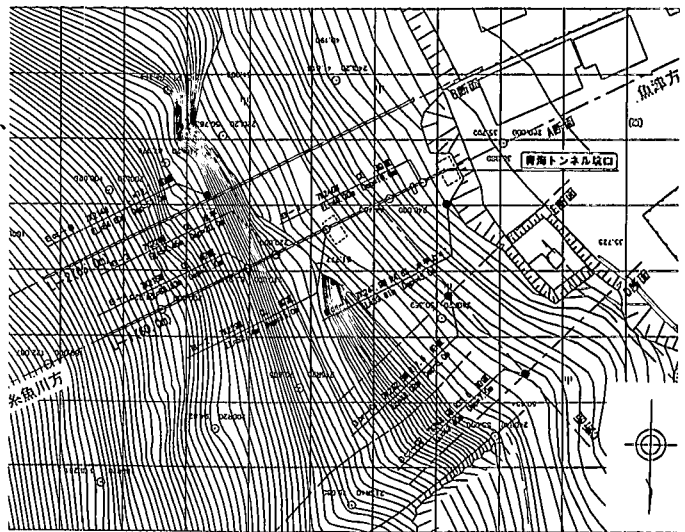


図-2 坑口付近ボーリング箇所平面図

把握するとともに、ゆるみ領域のより正確な想定を行い、トンネル掘削による崩落の可能性のある岩塊の特定と危険度を分析し、その対策を講ずるための基礎資料とした。

調査結果による地質縦断面図を次頁の図-3に示す。

3-1-2 上部斜面部

上部斜面に広範囲に点在する浮石・転石の正確な分布位置・落石経路及びその危険度を把握するため、斜面をくまなく踏査するとともに、現地にて20mメッシュで木杭を打設し測量(航空写真)することでトンネルとの平面的な位置関係を把握し、危険度の分析及び対策工の対象となる浮石・転石を特定する資料とした。

3-2 分析

3-2-1 オーバーハング部

入念な観察及び調査結果から、次のような場所からの落石の発生が予測された。

①下部直壁部（図-3のA-1、B-1部）

②上部突出部（図-3のA-2、B-2部）

①については、上部の突出部より先行して侵食が進んでおり、落石が頻繁に発生しているものと思われた。緩み領域は奥行が3～4m程度あるが、縦亀裂が密集しているため緩み領域全体が一度に崩落することは考えにくく、縦亀裂によって分離した岩塊が不安定化して抜け落ちて落石となると考えられた。

②については図-3のF-1とF-2等の流れ盤を示す開口クラックに沿ったすべりによって、比較的大きなブロックで落石が発生すると考えられた。

これについては調査ボーリングにおいてF-1に相当する部分に擦痕が認められること、オーバーハング上部に崩壊跡地が点在することから、すべりによる落石が過去にも発生していたことが推測された。

3-2-2 上部斜面部

通常、落石の危険度を判定するには、以下のような項目について、程度を区分または点数付けして危険度の分類を行う。

- ・斜面の傾斜、地形
- ・岩質、岩盤の性状
- ・表土の状態
- ・気象
- ・植生
- ・割れ目の状態
- ・礫の埋没状態
- ・集水状態

この方法は、一般に広域的な斜面ごとの危険度区分を実施する場合に適用されている。

今回の目的は、ほぼ特定された斜面に見られる基岩・転石の危険度区分にあり、その評価を行う上から、次のような共通の要素を検討し、これを取り除く項目をその指標とすることが合理的と考えられる。

①分布している岩は石灰岩のみである。

②風化状態は表面からの溶蝕や褐色化は

あるが、岩芯への影響は見られない。

③斜面勾配はほぼ同じである。

④植生はやや密な斜面においても落石抑制の効果が薄い状態であるため、特に危険度の区分判断要素として弱い。

上記の共通項を除いた要素を重視することにより、危険度の違いを相対的に判断した。

これらの基本的判断基準と現地踏査の結果、危険度に影響する最も重要な要素は、割れ目の状態と浮石・転石のバランス（重力的不釣り合い、足下侵食等）状態の影響が

大きいと考えられることから、この要素を特に重視して表-1に示す判定基準を設定し、危険度の判定を行った。

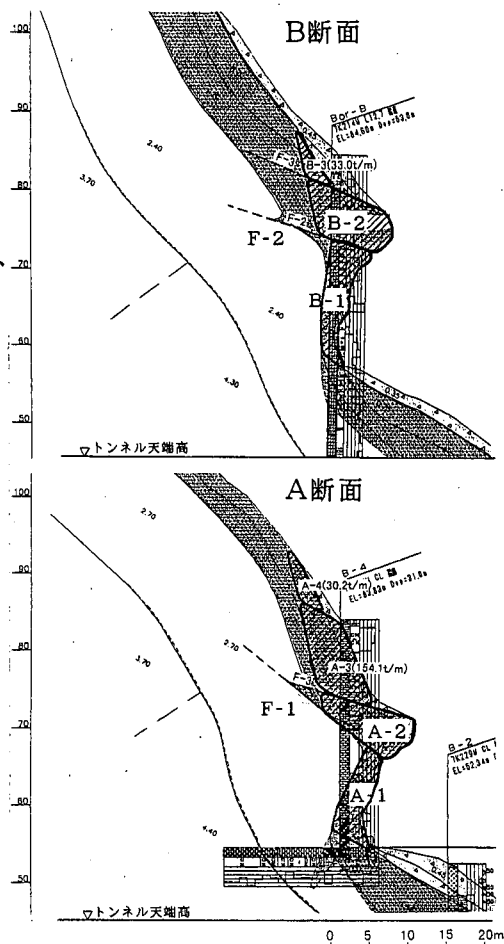


図-3 地質縦断面図

表-1 落石の判定基準

判定区分	浮石の判定基準		転石の判定基準		安定性の評価と対策の必要性
	浮石周囲割れ目の状態	浮石の状態	転石の状況	地表の状況	
(1)	対象岩塊の周囲に連続した割れ目がある。	割れ目開口し、上部ほど開くような重力的な移動が見られる。または、基盤に対してずれている。オーバーハングや、脚部の地盤が侵食・侵食・流出により、明らかに重力的に不安定なもの。	樹木や露岩で停止しており、重力的に不安定な状況にあるもの。地盤にあってもブロック状等の転がりやすい形状をしているもの。	転石足下が侵食・水等により侵食・流出し、バランス状態が悪いもの。	通常の自然条件の中で緩みが進行しやすい、初期崩壊で不安定化する可能性がある。対策が必要。
(2)	対象物の周囲に（側面）連続した割れ目がある。	割れ目は密着する。やや開きがあっても、周囲の地盤に安定的に支持されているもの。	樹木で覆われ大きく、伏せて停止。接触面が岩体に対して広く、再移動の可能性が低いもの。	表土等に埋まるもの。足下の侵食等がみられないもの。侵食の一部が全体で地盤との密着がよいもの。	経年劣化や異常気象・外力により不安定化する可能性があるもの。現状は安定しており、比較的に長期安定を保持すると判断できる。対策は不要。
(3)	割れ目はあるが全周に発達していない。	基本的に対象物の基礎は地山とつながっているもの。	半分以上表土等に埋まり、安定しているもの。	斜面傾斜が平坦になり、重力が移動の可能性が低いもの。足下の侵食がみられないもの。	
(4)	割れ目がない。割れ目はあるが連続性に乏しい。	地山で落下対象物がない。割れ目の緩みがまったくない。	転石ではこのランクには分類されない。		非常に安定しており、対策は不要。

- 204 -

落石の対象箇所別に選定した対策工とその概要及び目的を下表－２・図－５に示す。

4-2 対策工の施工

対策工の施工に際して最も留意すべきことは、対策工事施工中における落石災害を防止することであり、対策工事の施工方法及び施工順序について、入念な計画を行った（図－６対策工フロー図参照）。また、落石を防護するための仮設防護対策の検討も行った。

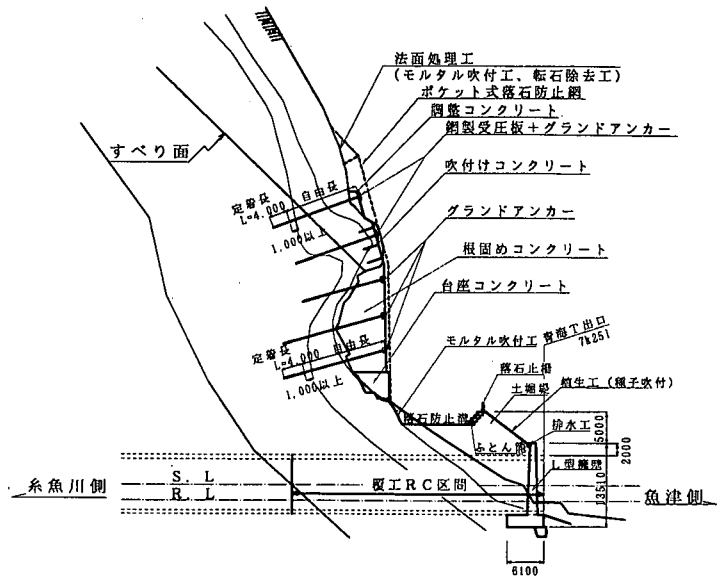
転石除去工に関しては、小割した岩片が落下するのを防止するため、小割作業部下部に仮設の落石防護柵（単管柵）を設置した。またオーバーハング上部斜面の立ち木を利用し落石防護ネットを設置し、万が一の小割岩片の下部への落下に対して、二重の防護策を採った。

擁壁工に関しては、擁壁背面に落石防護柵（鋼材柵高さ 9 m）を設置して、落石があった場合でも作業ヤードに落下することがないような対策を講じた。

またオーバーハング直下での仕事となる根固めコンクリートについては、施工に先立ちオーバーハング全体の壁面にモルタル吹付けを行い、壁面の小崩落を防止するとともに吹付け面の観察を実施することで、落石・崩落の兆候を早期に発見できるよう管理した。

さらにオーバーハング上部突出部から下部直壁部にかけて金網をカーテン状に設置し、上部斜面からの落石のポケットにするとともにその内部（オーバーハング壁面側）への立ち入りを禁止した。

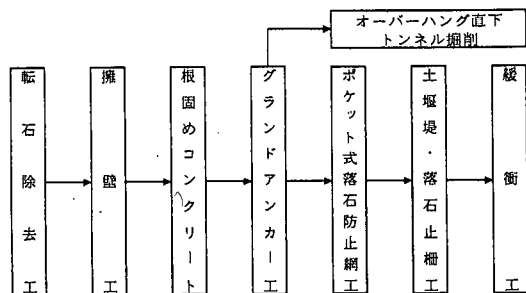
さらに気象条件による作業中止基準を定め、その遵守を徹底した。



図－５ 対策工概要図

表－２ 対策工一覧表

対象箇所	落石形態	対策工	工法概要及び目的
オーバーハング部	下部直壁部 抜け落ち型落石	根固めコンクリート工	コンクリート壁で壁面全体を被覆することで、壁面の劣化防止及び上部突出部の根固めを行う。またその根固めコンクリートの地震時の水平力による転倒を抑止するためグラウンドアンカーで地山と一体化させる。
	上部突出部 すべり型落石	グラウンドアンカー工	滑落する可能性のある不安定岩塊の地震時における水平力を抑止するため、グラウンドアンカーにより地山への縫い付けを行う。
上部斜面	広範囲からの落石で落下箇所の特定が困難である	転石除去工	落石を防止する最も有効的な手段として、落石発生源の除去を行う。地形状況的に機械施工は困難であるため人力による小割除去とする。
		ポケット式落石防護網工	除去対象外の小岩塊等の落石をオーバーハング上部で防護する。
		落石止擁壁工	本線左右への除去対象外の小岩塊等の落石の内、本線左右から本線内へ転落・落下してくるものを、コンクリート擁壁で防護する。
		落石緩衝工	トンネル直上部の保護盛土及び良質砂の敷き詰めによるトンネル本線構造物の防護
		土堰堤及び落石止柵工	トンネル直上部に落下してくる落石の、本線への転落を防護しつつポケットとするため、土堰堤及び落石止柵の設置を行う。
		覆工コンクリートの補強	トンネル直上部に落下してくる落石が覆工コンクリートに与える衝撃を考慮した、覆工コンクリートの設計



図－６ 対策工フロー図

4-3 トンネル掘削時の対策

トンネル掘削時の上部斜面への影響を検討した結果、想定影響位置(坑口より75m)からの掘削は、工程上も考慮しアンカー工完了後に行った。地山の緩みを抑止し切羽の自立性確保のため、掘削はショートベンチカット工法とした。また発破の影響により岩塊及びコンクリート構造物に影響が生じないように、発破振動の抑制のため芯抜き発破と払い発破の2回に分けた分割発破工法にて対応した。

その間、地山の動態観測として孔内傾斜計測定により、オーバーハング部岩塊の開口クラックでのすべり崩落等地山の挙動の監視を行った。測定は毎日1回行い、地すべりの管理基準を引用して管理を行った。すべり面付近の変位速度が1mm以上/10日で点検・要注意または観測強化とし、5mm以上/5日で対策の検討を行うこととし、結果は最大2mm/10日程度で収まった。

また切羽進行に伴う上部斜面での発破振動の変化を把握するため、振動計による振動測定管理を行い監視を行った。振動測定は発破毎に行い、振動レベルの測定値を変位速度に変換し、そのデータにより管理を行った。岩盤斜面に対する変位速度の影響についてはOriardの示した値で5cm/sec以下となっており、構造物に対しては既設トンネルの健全度判定区分に対応する発破振動の規制値として、安全率を考慮した上で2~4cm/secとなっている。これらより振動の管理基準値を2cm/secと設定し、発破振動の抑制を図った結果、1cm/sec以下で完了した。

5. おわりに

本工事は非常に特異な地形条件の下での大規模防災工事を伴うトンネル工事であったが、様々な落石災害に対する妥協なき防護対策の検討と実施により、目立った内空変位や開口亀裂の緩みの兆候もなく無事トンネル掘削を完了させ、落石対策工の完成を成し得ることができた。

対策工期間中(1年半)には数回の自然落石を経験したが、施工完了後から現在にいたる1年半(2回の越冬含む)にはまったく落石が発生していない。

今回の落石対策工事を振り返るにあたり最も特記

すべき点は、徹底的な現地調査と分析による落石形態の特定・分類とその危険度の把握、そしてそれに対する妥協なき防護対策の検討と実施である。

本報文で述べてきた調査方法とその分析結果、そして対策工の検討・計画・施工といった実施例が、トンネル坑口部に限らず斜面の落石防護対策工事を検討・計画する上で参考になれば幸いである。



写真-3 対策工完了全景

参考文献

- 1) 社団法人 日本鉄道施設協会：落石対策技術マニュアル検討会 報告書，1998
- 2) 社団法人 日本道路協会：落石対策便覧，1983
- 3) 土木学会：岩盤斜面の安定解析と計測，1994
- 4) ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための制御発破工法の実例－発破による騒音や振動を制御する技術資料－，1996
- 5) 財団法人 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル，1995