

トンネル工事における労働災害防止への取り組み

島 豊¹・河田孝志²・金岡 幹³

¹正会員 工学 北海道建設部土木局道路課整備維持グループ（〒160-0004 札幌市中央区北3条西6丁目）

²正会員 工修 清水建設株式会社土木技術本部（〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2-3）

³正会員 工学 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部（〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2-3）

北海道のほぼ中央に位置する占冠村に建設された赤岩トンネル工事は、大規模地すべりに遭遇するなど、工事は困難を極めた。そのため、坑内では輻輳した作業状況を余儀なくされた。

このような作業状況の中で赤岩トンネル工事では、上半乗上げ栈橋、エレクター付き吹付け機など安全性の高い最新設備を採用し、アルカリフリー液体急結剤など人体への影響の少ない材料を選定し、現場内の整理整頓、坑内照度向上、ブラケット安全通路などの実施により、安全な作業環境を確保した。さらに、トンネル災害防止委員会の活動を通して、職員、作業員の安全意識を改革し、66ヶ月間に亘った難工事を無事に完了させた。

キーワード：山岳トンネル、安全、作業環境、安全意識、脆弱地山、上半乗上げ栈橋、アルカリフリー液体急結剤、ブラケット安全通路

1．はじめに

建設業における労働災害は、長期的に減少傾向であり、この30年間で建設業の死亡者数は約3分の1になった。トンネル工事においても、30年前には死亡者数が年間100名近くいた状況から、最近では10名以下と大きく改善されてきている。しかしながら、依然としてトンネル掘削工事は危険作業といわれ、重篤災害が占める割合が多いのも事実である。

トンネル工事における死亡事故等の重篤災害は切羽崩落及び重機関連に起因するものが圧倒的に多い。各現場では、切羽崩落災害及び重機関連災害防止を中心とした労働災害防止に向け、様々な取り組みを行っている。

道道夕張新得線道路改良（赤岩トンネル）工事では、切羽崩落災害及び重機関連災害の絶滅を目標に発注者、施工者が一体となり、安全管理に取り組んだ。現場独自のルールを定め、徹底した安全管理を実施するとともに、トンネル災害防止委員会を発足させ、他現場の見学会やワーキンググループを立ち上げる等の交流を積極的に実施した。これらの活動により安全ルールの統一や安全意識の向上が図られ、災害防止につながった。

本報告では、これらの労働災害防止への取り組みと効果について報告する。

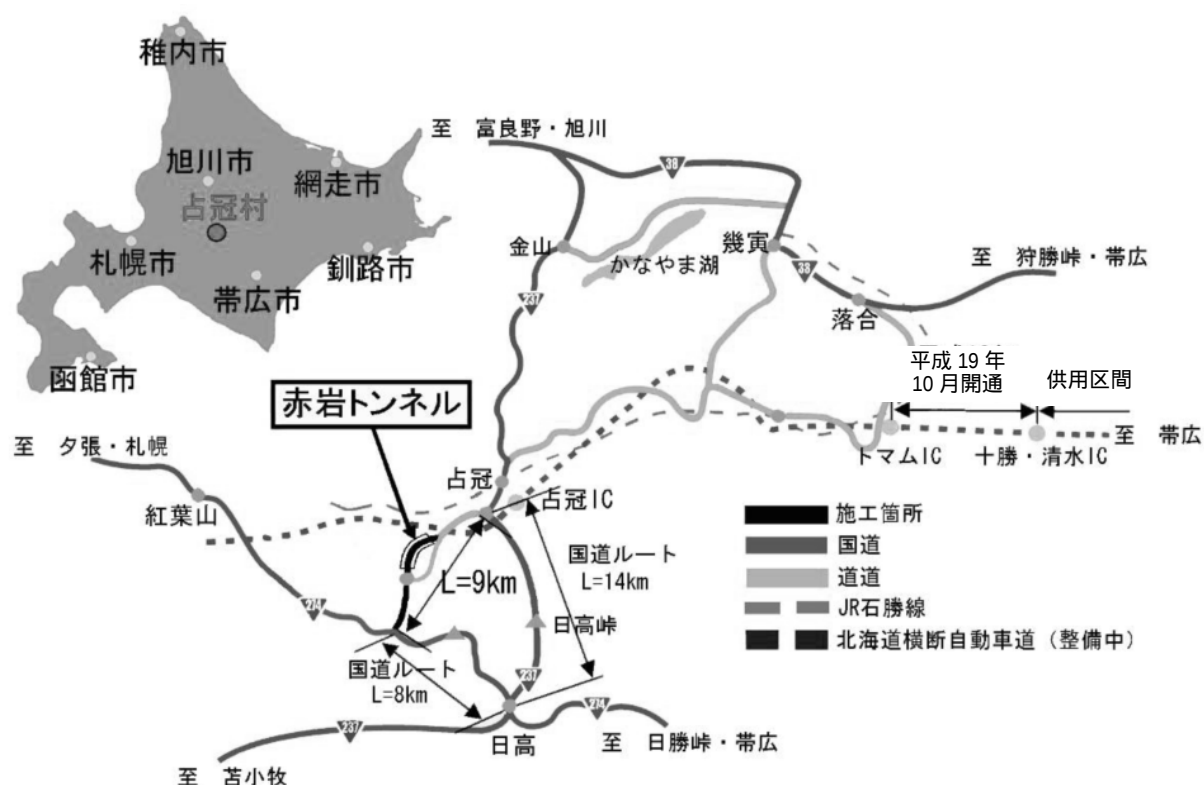
2．工事概要

道道夕張新得線（赤岩トンネル）工事は、地すべりや冬期間の雪崩による通行止めが絶えない現道区間をトンネルルートに変更し、交通の安全確保を図る目的で計画、施工された延長2,115mの2車線道路トンネルである（表-1、図-1）。

赤岩トンネルが位置する地域は、神居古潭帯に属し、蛇紋岩と各種変成岩類からなる地帯で、蛇紋岩とそれの進入によって上昇したと考えられているハッタオマオナイ層と呼ばれる高圧タイプの弱変成を受けた中生代白亜紀の地層から構成される。ハッタオマオナイ層は、堆積性メラングジェをなす付加コンプレックスとされ、トンネル切羽は粘板岩・砂岩・チャート・緑色岩（変質した玄武岩）などが混在し、

表-1 赤岩トンネル工事概要

工 事 名	道道夕張新得線道路改良（赤岩トンネル）工事
工 事 場 所	北海道勇払郡占冠村
発 注 者	北海道上川支庁旭川土木現業所
施 工 者	清水・荒井・熊谷特定建設工事共同企業体
工 事 期 間	66ヶ月（H13.9～H18.3）
延 長	2,115m
掘削断面積	63～170 m ² （地すべり交差部）



不規則で非常に複雑な地質構造であった。

トンネル掘削開始直後は、予想以上に硬質な岩盤が現れ、通常の機械掘削の計画を変更し、割岩工法を採用した。また、掘削を進めるうちにトンネル線形上に当初想定されなかった大規模地すべりの存在が判明し、国内外においても例のない大規模地すべり交差部のトンネル施工となった。

大規模地すべり付近の脆弱地山でのトンネル掘削や将来にわたるトンネルの機能性確保等，多くの課題克服に挑み，新技術を開発採用して無事に竣工へと導いた．これらの成果が認められ，本プロジェクトは平成18年度土木学会技術賞を受賞している．

3. 赤岩トンネルにおける災害防止対策

赤岩トンネルでは、工事開始に当たりトンネル工事における2大災害である切羽崩落災害及び重機関連災害ゼロを目標に安全ルールを定め、工事進捗に合わせて現場ルールを変更・改善した。以下に具体的な内容を示す。

(1)切羽崩落災害防止対策

切羽災害の多くは、作業員が切羽付近に近づいている状況で発生する場合が多く、主な災害発生原因として以下の項目が考えられる。

掘削完了時のコソク不足

切羽状況の把握不足

切羽監視員の未配置，確認不良，判断ミス

作業員の不安全な行動

さらに、赤岩トンネルの地質は堆積性メランジェの特徴から複雑であるため、切羽前方地山状況が予測しにくく、特に脆弱な地質が現れると頻繁に肌落ちや崩落が発生する可能性が高い状況であった。

当然、地山状況に合わせた適切な支保、補助工法を実施し、切羽・天端崩落対策を徹底していたが、不測の現象が発生することも十分に考えられた。

そのため、作業員が切羽に極力近づかないこと、止むを得ず近づく際には定められた手順を確実に実施すること、切羽の異状をできるだけ早く察知できることが重要であると考え、以下の実施を徹底した。

a) 1 次吹付けの実施

地山状況に関わらず、支保工建込作業前には必ず1次吹付けを実施する。地山脆弱部では上半切羽を上下に分割して1次吹付けを2回実施することで切羽崩落防止を図った。

b) 支保工建込用エレクトーの使用

支保工建込み作業は支保工建込用エレクトーを使用し、切羽立入り時間を極力短くする。

c) 経験豊富な切羽監視員の配置

切羽監視員を作業毎（掘削・1次吹付け・支保工
建込み・ロックボルト打設）に職長又は職長代理ク

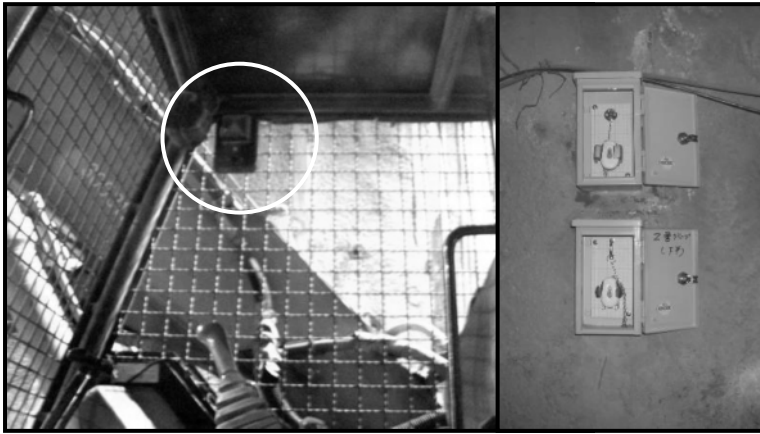


写真-1 無線遠隔操作による合図ブザーと回転灯

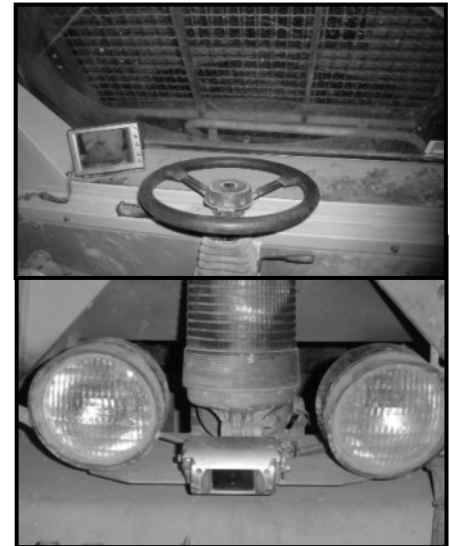


写真-2 重機死角バックモニター



写真-3 上半乗上げ棧橋とブラケット安全通路



写真-4 坑内照度の確保

ラスの経験豊富な責任者を指名し、切羽状況を的確に把握し、作業員の不安全行動防止を徹底する。

d) 切羽照度の確保

わずかな肌落ち、吹付けクラックの発生等を見逃さないように切羽照度を確保した。毎日、切羽照度を測定し、250lx以上の確保を目標に管理した。

e) 切羽監視システム

切羽全体を確認できるカメラを設置し、現場状況を事務所でも確認でき、施工状況を記録できる切羽監視システムを採用した。監視下にある作業員には、不安全行動を抑制する意識が働く。

(2) 重機関連災害防止対策

トンネル内での作業には、他工種と比べて重機関連災害の危険性が高くなる要素が多く含まれている。トンネル内における重機関連作業の特殊性として以下の点が挙げられる。

作業場所が切羽に集中するため、重機が頻繁に入替わる等、接触事故の危険性が高い。

トンネル内という限られた狭隘な空間であるため、緊急時に作業員の逃げ場所がない。

一般にトンネル内は暗く、粉塵が発生して視界が悪い。

作業騒音が響きやすく、作業員に重機車輦のエンジン音、クラクション音が聞こえにくい。

トンネル掘削時は重機オペレータは切羽を向いており、大型ブレイカ等の騒音の大きい機械では、後方からのクラクション音も聞こえないため、合図確認方法が確立されていない。

以上の特徴を踏まえ、重機関連災害防止対策として以下を実施した。

a) 坑内車両・重機の回転灯

坑内走行車両及び重機には必ず回転灯を取付けることにより、遠方から視認しやすくなる。

b) 重機後退時のバックブザー・回転灯

重機後退時にはバックブザーに加えて回転灯を連動して点灯させ、後方ではバックブザーが聞こえなくとも後退することが認識できる。

c) 無線遠隔操作による合図ブザーと回転灯

切羽作業の重機には無線遠隔操作による合図ブザー・回転灯を取付け、後方にいる作業指揮者等からオペレータへの明確な合図を可能とした(写真-1)。

d)重機作業時の立入禁止処置

重機作業時は切羽付近を立入禁止とし、カラーチェーンと看板により明示する。

e)ずり出し時の立入禁止監視員

ずり出し作業時の切羽付近は重機及び重ダンプが頻繁に移動し、非常に危険であり、立入禁止処置が困難である。安全通路内に立入禁止監視員を配置し、ヒューマンエラーによる災害を防止する。

f)クラクション合図の統一

重機・車輛の発進時には、前進2回、後進3回のクラクション合図を統一して実施する。また、入出坑時、セントル・栈橋通過時、切羽以外の作業箇所においてもクラクション合図を行う。

g)重機死角バックモニター

すべての重機と重ダンプについて、後方の死角にカメラを設置し、運転席のモニターにより常に確認できる（写真-2）。

h)上半乗上げ栈橋

上下半同時併進掘削では下半掘削を半断面施工として掘削ズリにより上半への運搬斜路を形成するのが一般的であるが、斜路形成の法面が必要となるため下半切羽や運搬斜路の幅が狭くなり、施工性・安全性に問題がある。前後左右に移動可能な上半乗上げ栈橋を使用することにより、これらの問題が解決され、効率的で安全な作業が可能となる（写真-3）。

i)ブラケット安全通路

上記の理由から、上下半同時併進掘削で下半施工箇所安全通路を設けることは非常に困難である。ブラケット安全通路は、支保工に固定して安全通路を設置する方法で、下半作業箇所での安全通路を確保し、重機車輛と歩行者を完全に分離することができる（写真-3）。

j)坑内照度の確保

トンネル内の視界を確保するため、照明を5m毎

に設置し、坑内照度を確保した（写真-4）。

k)坑口安全対策

見通しの悪い坑口付近での接触災害を防止するため、単管足場を用いて車輛走行路より高い位置に安全通路を設置した（写真-5）。

l)歯止め設置の徹底

現場ルールとして駐車時の全車両に歯止め設置を義務付けた。歯止めの徹底を確認することで、現場ルール遵守の意識が維持されているかどうかの判断基準の1つとなる。

(3)その他の災害防止対策

切羽崩落災害防止、重機関連災害防止以外についても様々な設備、ルールを用いて安全環境に配慮した現場管理を実施した。安全環境対策の主な項目を以下に示す。

a)アルカリフリー液体急結剤

吹付けコンクリートの急結剤にアルカリフリー液体急結剤を採用した。アルカリフリー液体急結剤は1m³タンクからポンプにて補充するため作業が軽減し、弱酸性の液体のため強アルカリ性の粉体タイプに比べて取扱い時の危険性が少ない。また、はね返り量が少なく、発生粉塵も少ないため、作業環境が改善される。

b)バイオトイレ

水を使わず、バクテリアにより排泄物を分解するため、臭気が少ない。現場付近の一般道路とトンネル内に設置した。

c)クリーンルーム

トンネル内の休憩所としてクリーンルームを設置した。搭載された集塵機を介してクリーンなエアが常時ハウス内部に供給され、外部との圧力差により、粉塵の流入を防ぐ。作業員は防塵マスクを外し、リフレッシュできる（写真-6）。



写真-5 坑口安全対策状況



写真-6 クリーンルーム設置状況

d) 粉塵対策

坑内環境の改善のため、大型電気集塵機を導入し、安全通路横に設置したホースから霧状に散水することで路盤の粉塵を防止した。

e) 資材倉庫

冬期の積雪対策として、資材置場全体を屋根で覆い、荷役設備に2.8t吊天井クレーンを設備した資材倉庫を設置した。

f) 保護具着用の徹底

保護具（電動ファン防塵マスク、プロテクタ、耳栓、保護メガネ、安全帯等）に関して作業に合わせて具体的なルールを定め、遵守徹底を図った。

4. トンネル災害防止委員会の活動

(1) 委員会の発足

さらに、切羽崩落災害及び重機関連災害の絶滅を目標に北海道内の当社のトンネル工事現場と共同し、トンネル災害防止委員会を立ち上げ、赤岩トンネルで実施した災害防止対策の水平展開と各現場の安全に対する意識の共有化を図った。委員会では、2ヶ月に1度のペースで、各現場持ち回りで会議を開催する他、見学会やワーキンググループを立ち上げる等の交流を積極的に実施した。

委員会メンバーは、幹部、安全長各現場の責任者（工事長、工事主任）の委員で構成され、会議には各委員に加えて、若手職員及び協力会社職員を各現場から交代で1名ずつが参加した。

以下に、委員会活動の具体的内容とその効果について記述する。

(2) 現場の進捗状況報告及び施工上の問題に関する意見交換

現場の進捗状況を報告し、現場で直面している問題について、各委員が意見を出し、議論した。新規現場の着工時の検討も行なわれ、複数の経験者との意見交換ができるため、検討の幅が広がり、より安全で効率的な施工方法の選定につながった。

また、ひとつの現場で発生している問題が、他の現場に伝わるため、問題が発生する前の事前対策の実施や予備知識が得られ、経験のない事例でも迅速に対応できる体制が整えられた。

さらに、各現場で導入している機械や新技術の情報が得やすく、その導入について身近で具体的な検討が可能となった。

(3) 現場パトロールと講評

毎回、開催場所の現場パトロールを行ない、終了後各委員がパトロール結果について講評し、忌憚のない意見が交わされた。

パトロール前には日頃にも増して現場整備を行なうが、指摘は10項目以上にも及ぶ。トンネルという同じ工種の専門家からの指摘は、的を得ている上に、細かい点も見逃さない。また、参加した若手職員、協力会社職員も自らパトロールで指摘することで、自分の現場で同じような指摘をされてはならないという責任感が芽生えた。

(4) トンネル災害防止についての意見交換と統一ルールの制定

設立当初の委員会ではトンネル災害防止について盛んに意見交換が行なわれ、各現場で実施している具体的対策からその必要性や水平展開について徹底的に議論が行なわれた。この活動は当社の安全環境本部との連携を図りながら進められ、「トンネル工事安全ハンドブック」の発行により全社的な統一ルールが定められた。

統一ルール制定時にはその運用やコスト面の問題等が話し合われたが、現在は各現場がそのルールに基づき徹底した安全管理を行なっている。さらに実施状況の確認と改善の必要性等の話し合いを継続している。

また、各会でテーマを決めて、各現場の実績状況を発表し、意見交換を実施している。テーマは安全・品質・技術と多岐にわたり、その内容を具体的に掘り下げて議論を行ない、各現場の創意工夫が水平展開され、管理状況改善につながる。

例えば、作業毎の保護具着用の指定に対して、これまでは具体的な着用範囲となると各現場で統一されていない部分が見られた。そこで作業の流れと機



写真-7 災害防止委員会の開催状況

械配置等を考慮し、具体的な着用範囲を決め、誰がどこでどの保護具を着用しなければならないかを統一し、一覧表にして明確に示した。現在は、各現場で一覧表に基づき、そのルールを作業手順書に盛り込み、管理を実施している。

また、眼鏡の常時着用を義務付けるという新しいルールは、目への有害物接触災害が多いという反省から生まれた。保護ゴーグル着用指定作業以外でも眼鏡の着用を義務付けたもので、以下の理由に基づいている。

災害事例は、いずれも直接目に有害物が触れたことが原因であったが、その被災状況から保護ゴーグルでなくとも通常の眼鏡を着用していれば防げたと思われる。

保護ゴーグルは視界が狭く、曇りやすいため、常時着用させるには不向きである。

指定作業での着用を義務付けても、ヒューマンエラーによる着用し忘れを100%防止できない。

保護ゴーグルの指定作業以外でも接触災害の危険はある。

こういった統一ルールを定めることで、安全意識のレベルが同じになり、各現場の問題解決への議論も円滑に進むとともに、解決の糸口が見つかりやすく、ルール改正等を含めた改善が早期に展開できる。

(5)現場担当者や協力会社職長・作業員の交流による効果

また、委員会の主導のもとで覆工コンクリート品質と美観向上を目的として、ワーキンググループを上げた。ワーキンググループは各現場の工事主任クラスで構成され、現場管理の合間に集まり、個々の持つノウハウを取りまとめ、水平展開しようというもので、約1年で成果品を作り上げた。この活動は現場のコンクリート品質向上と不具合防止に役立てることを目的としていたが、結果的には工事主任同士のコミュニケーションにより各現場の情報交換が行なわれ、お互いの現場の安全管理向上への効果も大きかった。

また、委員会では現場見学会を積極的に行ない、協力会社職長や作業員に他現場を見学させた。現場での品質・安全に関する指示は、元請からの一方通行になりがちであるが、レベルの高い他現場を直接見せることは、作業員の意識改革には最も効果的と思われる。見学後には、作業員自身が安全・品質に対する積極的な発言や作業に臨む姿勢に変化が現れ、工事の品質や安全管理状況も改善された。今後は、このような作業員のモチベーションを如何に維持し

ていくかが、課題となる。

5.まとめ

赤岩トンネルは平成19年3月に66ヶ月に亘る工事を無事完了した。延労働時間908,600時間に対し、軽微な災害はあったものの重篤災害ゼロであった。また、非常に脆弱な地山で合計77回の切羽崩落が発生したにもかかわらず、切羽事故は1度も発生しなかった。

工事期間中に実施された災害防止対策がどの程度の効果を発揮したかはわからない。しかしながら、工事期間の5年半を振り返ると、具体的成果がはっきりと現れていた。現場が整理整頓され、作業打合せでは安全に対する具体的な意見が飛び交うようになった。作業員に安全に対する高い意識を持った行動が見られ、現場での積極的な安全管理体制が整い、日常から細かい部分にまで目を光らせ管理する意識が現場全体に定着していった。

労働災害防止には、すぐに結果が出るような特効薬はない。粘り強く指導を繰返し、マンネリ化しないように良い刺激を与えながら安全に対する緊張感を維持することが重要である。トンネル工事のような長期現場で作業員の交代が少ない工種では、継続した指導により個人の安全意識が改革され、現場の雰囲気は変わっていく。その雰囲気は、周囲に伝わり、安全意識の高い組織が作り出せる。

危険性が高いとされるトンネル工事における労働災害が少しでも減少することを願い、本報告がその参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 川村俊一、島 豊、河田孝志、金岡 幹：大規模地すべり脆弱部を2重支保で突破、トンネルと地下、第37巻12号、pp.895-903、2006。
- 2) 金岡 幹、島 豊、河田孝志：大型割岩機を用いた割岩工法の急速施工、第25回日本道路会議論文集、2003。
- 3) 金岡 幹、島 豊、河田孝志、福田和寛：大規模地すべりと交差するトンネルの掘削と機能性確保、第27回日本道路会議論文集、2007。
- 4) 金岡 幹、川村俊一、島 豊、河田孝志：大規模地すべりと交差するトンネルを2重支保構造で施工、トンネル工学報告集、第16巻、pp.179-185、2006。
- 5) 金岡 幹：トンネル災害の絶滅に向けた方策、第43回全国建設業労働災害防止大会プログラム、2006。