

岩盤挙動管理による急崖崩落懸念部の掘削

小田洋明¹・石黒聡²・福田和寛³・平森誠⁴

¹正会員 清水建設株式会社 北海道支店営業部 (〒060-8617 北海道札幌市中央区北1条西2丁目1番地)

E-mail:h-oda@shimz.co.jp

²正会員 清水建設株式会社 北海道支店土木部 (〒060-8617 北海道札幌市中央区北1条西2丁目1番地)

E-mail:akira.ishikuro@shimz.co.jp

³正会員 清水建設株式会社 土木事業本部 土木技術本部 地下空間統括部
(〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3)

E-mail:k-fukuda@shimz.co.jp

⁴正会員 国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部

本報告は、北海道、えりも岬で施工した目黒トンネル工事において、大規模崩落が懸念される急崖部を埋設ひずみ計により計測管理しつつ掘削を行った事例を記述するものである。

Key Words : strain of rock, landslide, slope failure, measurement and control, behavior of rock, tunnel excavation

1. はじめに

一般国道336号は、北海道の浦河町からえりも町を経由して釧路市に至る約157kmの幹線道路で、えりも町から広尾町の10.9km区間は、大雨による規制等により道内で最も通行止めの多い区間である。目黒トンネルは、この区間の襟広防災事業の一部であり、安全で確実な地域住民の日常生活交通や物流、観光交通を確保するために計画されたものであった。図-1に位置図を示す。

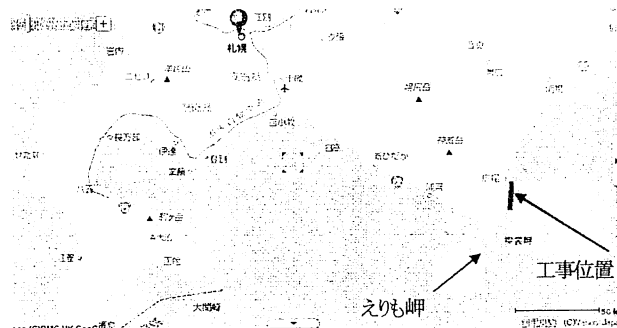


図-1 工事位置図

(1) 工事概要

目黒トンネルは、延長1875.5m、幅員9mの道路トンネルである。以下に概要を示す。

発注者：国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部

工事名：一般国道336号えりも町目黒トンネル工事

工事場所：北海道幌泉郡えりも町字目黒

工期：平成20年11月19日～平成23年3月25日

請負者：清水・北興特定建設工事共同企業体

工事内容：トンネル掘削 L=1,867.5m

(代表掘削断面積 A=68.0m²)

起点巻出工 L=7.5m

終点面壁 L=0.5m

覆工 L=1867.5m (V=14,900m³)

インバート工 L=1,084m (V=5,300m³)

掘削土処理 V=132,000m³

(2) 地質概要

地質は日高山脈の造山運動により膨大な圧力を受け形成された日高変成岩類のうち、塊状ホルンフェルスを基盤とした堅硬な岩質であった。事前調査では複数系統の亀裂が確認されており、掘削時は非常に強固であるが切羽が応力解放されると自立出来ないほど脆くなる区間(微細亀裂卓越部)もあると想定されていた。実掘削では破碎帯は確認されず、全線に渡り比較的安定したホルンフェルスの地山であった。懸念していた微細亀裂卓越部も顕著には現れず、自立するホルンフェルスに多亀裂な部分が介在して現れる程度であった。図-2に縦断図を示す。

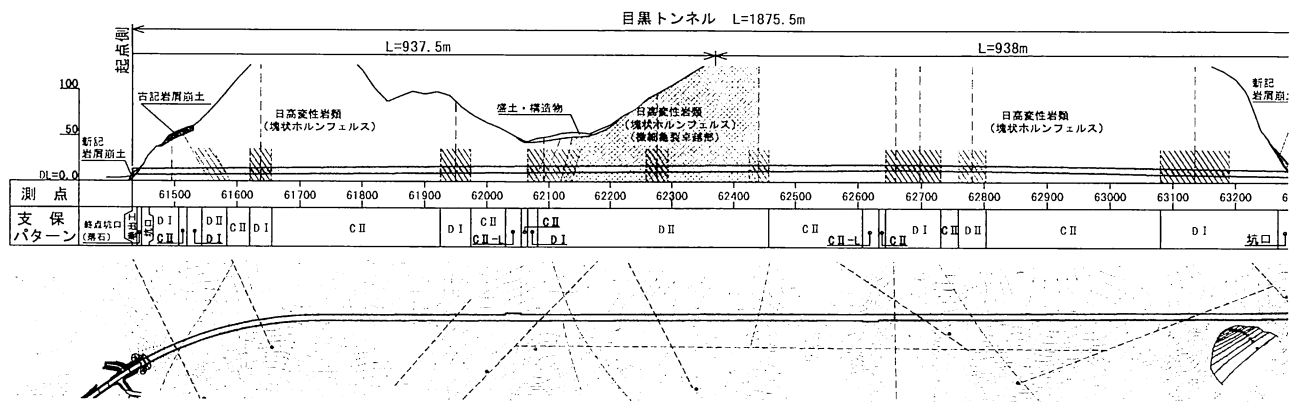


図-2 地質縦断面図

2. 大規模崩落対応区間の施工

(1) 当初計画と地山挙動計測実施の経緯

広尾側坑口から 148mまでは、急崖に対する大規模崩落対応区間として、掘削による緩みや振動を抑制した機械掘削工法で計画されると共に、補助工法（長尺鋼管フォアパイリング）も併用し、ゆるみ範囲の拡大防止が計画されていた。しかし、新たな地質情報を加味した三次元FEM解析により検証した結果、補助工法は削減しても、ゆるみはトンネル近傍で収まると判断され、有識者等で構成される第三者委員会においてその妥当性が確認された。

実際に補助工法を採用せず掘削を行うに当たり、急崖に影響が出ていないことをどのように把握、管理して掘削を進めるかが課題であった。補助工法を削除した代替策としてトンネル掘削時の急崖の挙動を観測しつつ施工することとしたが、人が近付けない急崖部には計器設置もできず、直接、挙動を管理することは出来ない。

そこで、トンネル側方の覆道上から掘削に先行して“埋設ひずみ計”を掘削断面側方に設置し、切羽通過に伴う周辺岩盤のひずみの変化を監視しながら掘削をすすめることとした。掘削による挙動がトンネル近傍に収まれば、当然、急崖にも影響を及ぼさないと判断でき、緩みが拡大しないことを監視しながら掘削を進めれば急崖の安定を確保できると考えた。

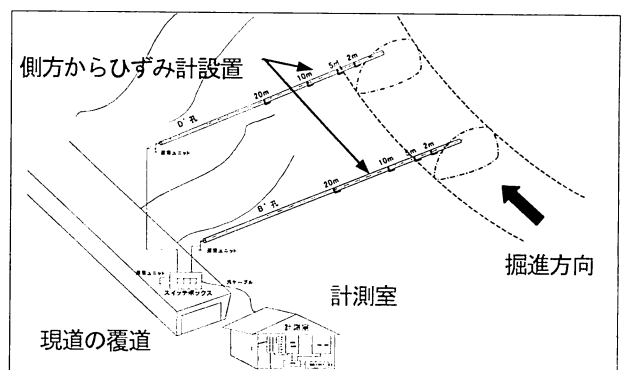


図-4 計測管理のイメージ

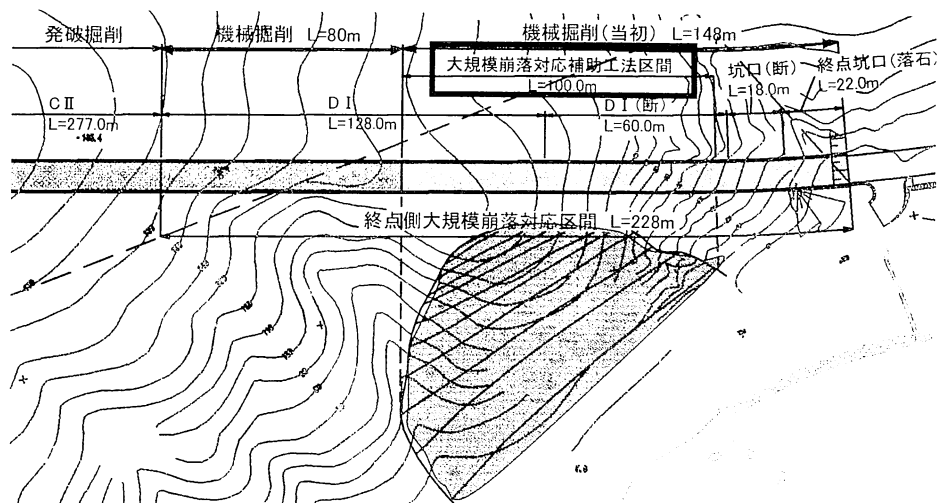


図-3 大規模崩落対応区間

(2) 岩盤ひずみ計の設置

ひずみ計は図-5 に示すように、大規模崩落対応区間の入口（B断面）と対象斜面に最も近い断面（D断面）の2断面に設置した。なお、B断面を採用したのは、解析による想定通り掘削の影響がトンネル近傍に収まることの確証を得たうえで、最も注意の必要なD断面の施工を行えるように考慮したためである。また、計器は、トンネル壁面から2、5、10、20mの4深度に配置し、2成分のひずみ計とした。図-6、図-7にB、D断面の岩盤ひずみ計の配置を示す。

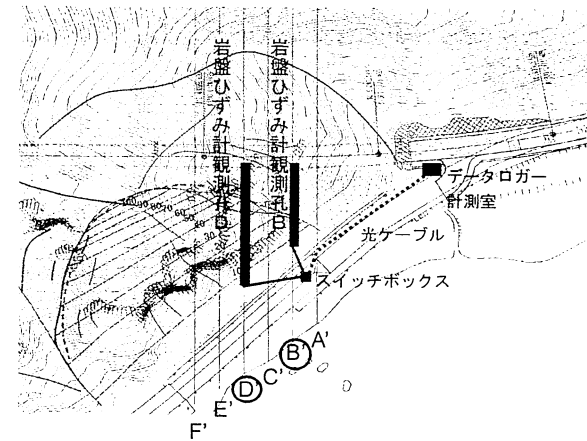


図-5 岩盤ひずみ計の配置

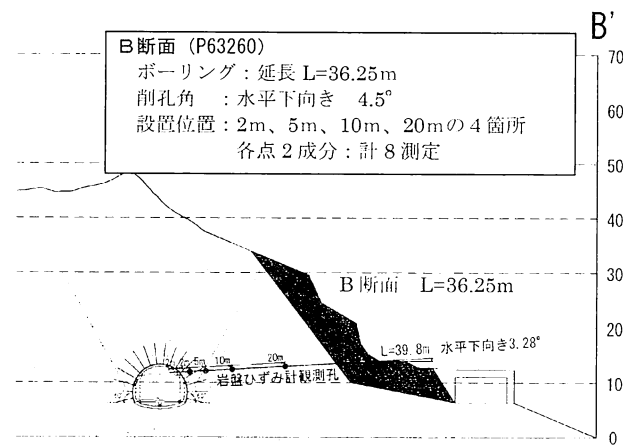


図-6 B断面岩盤ひずみ計の配置

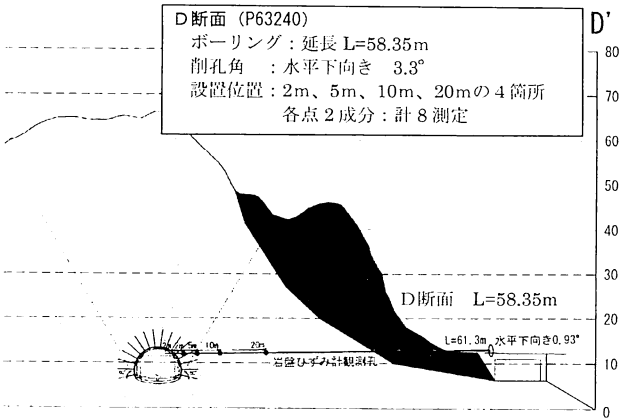


図-7 D断面岩盤ひずみ計の配置

設置孔は孔径φ98mmとした。岩盤ひずみ計を固定する埋設管（VP65 相当、外径 76mm）をボーリング孔内に確実に埋設・設置するため、先行削孔を孔径φ66mmで行い、その後外径φ98mmに拡孔した。孔口および破砕部による孔壁崩壊防止のため、ケーシングにより孔壁を保護した。図-8に岩盤ひずみ計の形状を示す。削孔では、方向を孔曲がり測定により把握しつつ施工した。

岩盤ひずみ計を地山と定着させるため、セメントミルクによるグラウト（早強セメント）を行ったが、岩盤のひずみが確実にひずみ計に伝達されるよう確実な充填が必要で、かつ、グラウト材の変形係数は岩盤のそれより小さくなるよう設定した。

- ・グラウト材 $E=6.34 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$
- ・岩盤 $E=18 \sim 64 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$



写真-1 岩盤ひずみ計

表-1 岩盤ひずみ計仕様

使用機器	型 式	規格
ひずみ計	KM-50F	標点距離 50mm 見かけの弾性係数：約 40N/mm ²
スイッチボックス	ISW-50C	測定点数：50 点 寸法：298(W)×100(H)×460(D)mm
データロガー	TSS-602	測定点数：最大 1000 点（本体 30 点） 高分解能(0.1×10 ⁻⁶ ひずみ)モード 大容量 HD 搭載（1.2GB） GP-IB、RS-232C 標準搭載 寸法：430(W)×180(H)×380(D)mm
避雷器	サーシィアブソーバ	3 端子ガスチューブアレスタ内蔵
計測ソフトウェア	TDS-7130	Windows XP

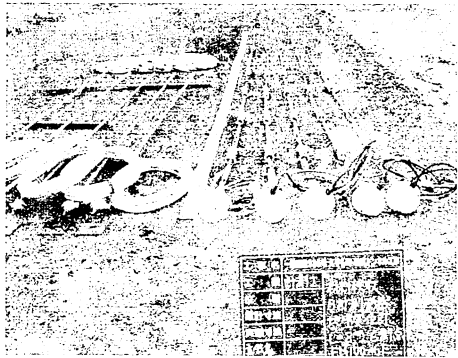


写真-2 岩盤ひずみ計全景

(3) 岩盤ひずみの計測

計測は、切羽が近づいてくる際の先行ひずみも計測できるように、切羽の影響が及ぶ前に先行して設置した。この計測は、測定位置付近を切羽が通過する前後のひずみの発生（挙動）を把握し、それがトンネル近傍に収まっていることを確認するためのものであるため、専用のデータロガーを設置し、リアルタイムに自動計測を行った。

計測値は一掘進毎にチェックし、変状がなければ次の掘削を行う計画とした。

(4) トンネル坑内からのB計測

また、岩盤ひずみ計測と共に、その妥当性の検証のため、坑内からも挙動計測を行うこととし、ロックボルト軸力計、地中変位計を設置した。これらを総合的に判断し、トンネル近傍の岩盤の挙動を確認し、その影響範囲の特定に活用することとした。

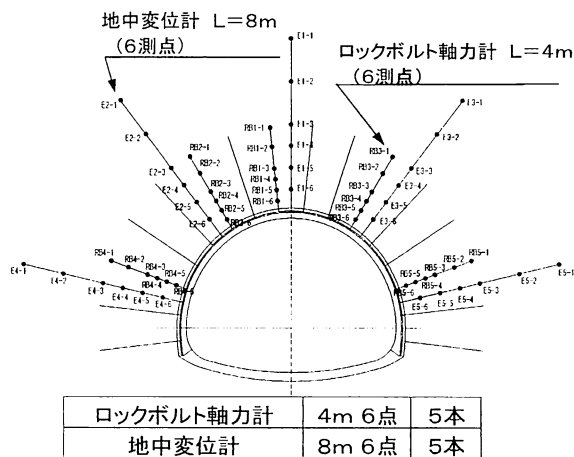


図-8 坑内計測器の配置

(5) 計測結果

計測値は一掘進毎に確認し、ひずみの発生範囲をチェックして次行程へ進む可否を判断した。管理基準は、当該位置の岩の一軸圧縮強度や弾性波から推定される限界ひずみの下限値であった 0.08%（約 4 000 μ ）とした。ただし、ひずみの絶対値はあくまで挙動範囲の推定の目安であり、トンネル近傍が限界ひずみを超えたとしても、支保工で安定が確保でき、ひずみの発生がトンネル近傍に収まっていれば、急崖への影響はないと判断できる。

図-9 に対象断面に最も近いD断面の岩盤ひずみ計測結果を示す。計測結果をみると、トンネルに最も近い2mの位置では、切羽が近付いてくるとひずみは増大し、通過とともに応力再配分によりひずみが低下した。切羽通過時の地山の挙動が適確に捉えられていることが分かる。

また、トンネル壁面から2m、5mの位置でひずみが確認されたが、計測値は 100 μ 以下で、管理値に比べても非常に小さい。安定性を検証した三次元FEM解析では、2m位置：500 μ 、5m位置：200 μ であったが、これと比べても小さな値であり、解析よりも安全側の結果であったと言える。さらに、トンネル壁面から10m、20mの位置では測定誤差程度の微小な値しか発生せず、岩盤挙動がトンネル近傍に収まっていると判断できた。

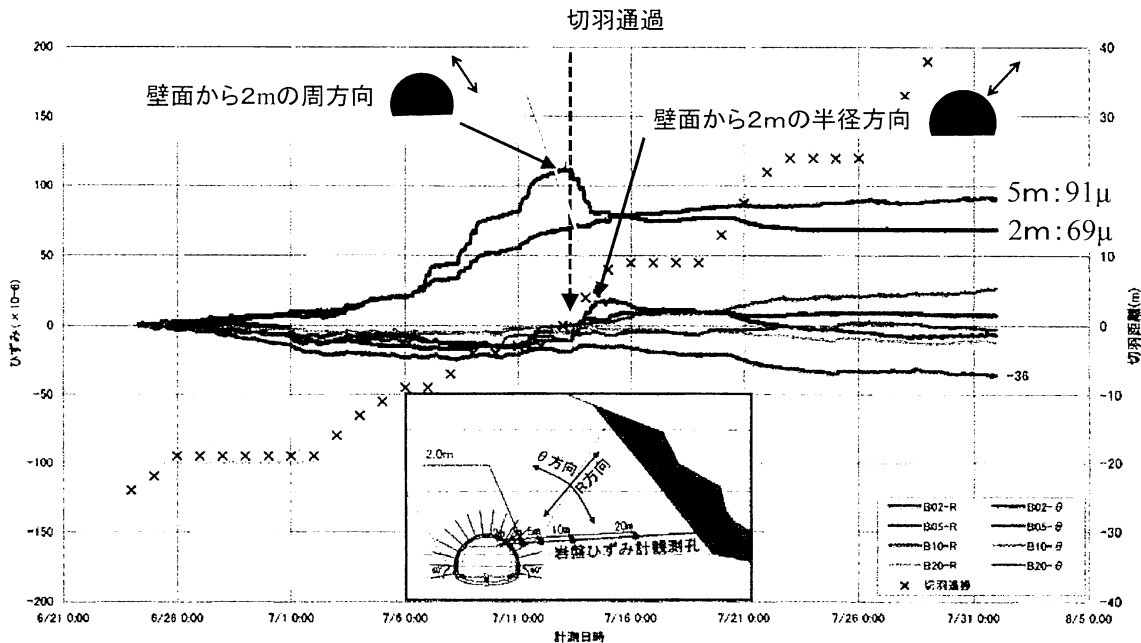


図-9 D断面の岩盤ひずみの経時変化図

次に地中変位計の計測結果を図-10 に示す。トンネル近傍 4m 範囲に若干の挙動が見られ、値は 1mm 程度で非常に小さかった。内空変位計測の結果も下図のトンネル断面内に記載したが、これも 4mm 以下と小さい結果であった。

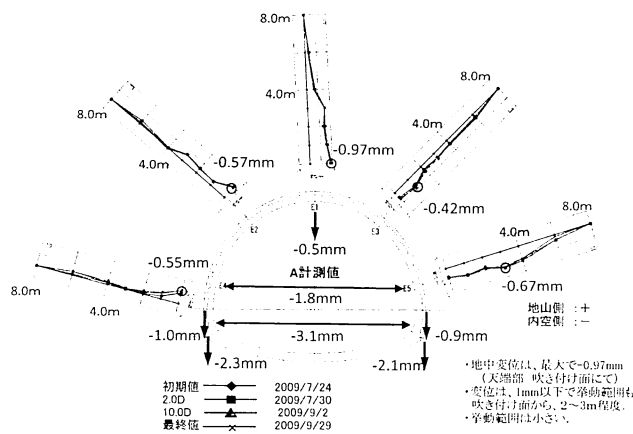
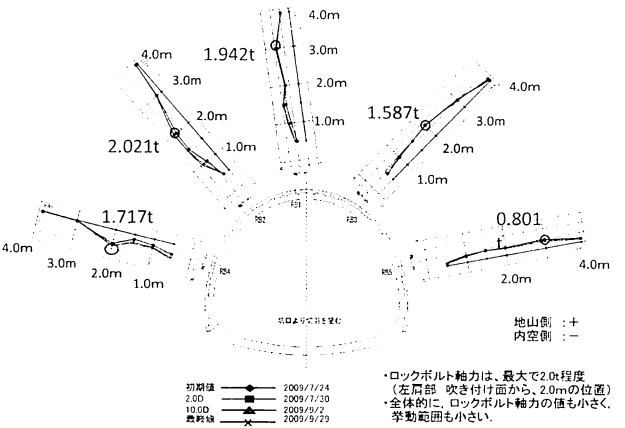


図-11 にロックボルト軸力計測結果を示す。トンネル壁面から 1~3m の位置に最大値が現われているが、値も 2t/本 弱で、18t/本の許容耐力に比較して小さなものであった。地中変位計の計測結果と同様にその挙動はトンネル近傍にあると判断できた。



(6) 当該区間の切羽状況と掘削

この区間の地山は先進調査ボーリングから想定していた通り、地質はフォルンフェルスで硬質で亀裂の比較的小さい部分が多く、そこに基質は硬質であるが若干亀裂が目立つ部分が介在する状態であった。

掘削は急崖に影響を与えないように機械掘削で施工したが、硬質な岩への対応と施工サイクルの向上を目的に切削出力 350kw 級の大型自由断面掘削機を導入した。さらに切羽は安定していたため、補助ベンチ付全断面掘削で施工を進めた。写真-3 に大型自由断面掘削機での掘削状況を示す。

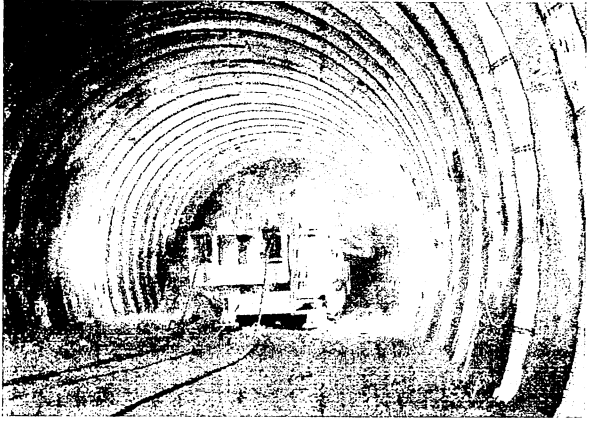
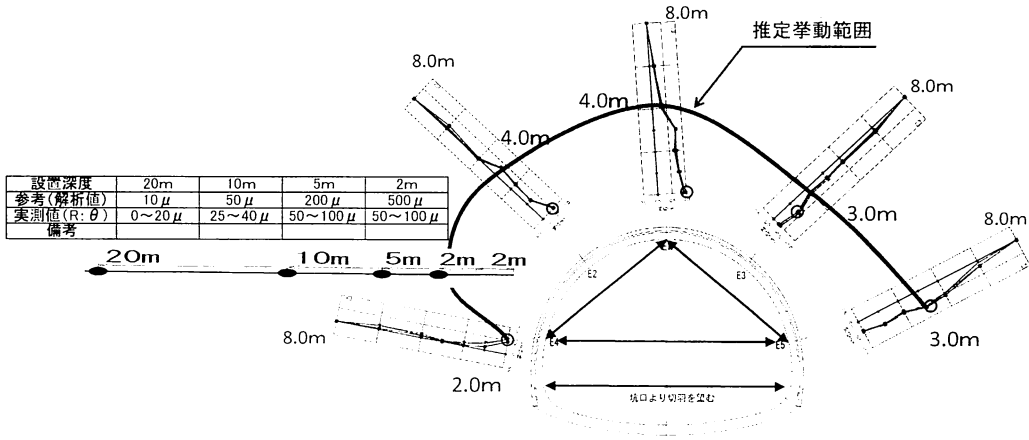


写真-3 大型自由断面掘削機での掘削状況

(7) 急崖への影響評価（挙動範囲の特定）

これらの結果を総合し、図-12 に示すような挙動範囲を推定した。当該地山では、掘削による挙動はトンネル近傍 5m 程度の範囲に収まっており、かつ、値としても小さく、ひずみ値は破壊に至る約 1% (4 000 μ 程度) に対し、0.03% 以下であった。トンネル壁面から 20m では計測誤差程度であり、掘削の影響はトンネル近傍に限定されている。このことから急崖への影響はなかったと判断でき、その安定を確保しつつ掘削が行えたことが検証出来たと考えている。



3. 地域貢献

当工事を進めるに当たり、所内全員が当地域の一員との認識を持ち、えりも町や地元の方と一体となって、かつ、発注者である北海道開発局室蘭開発建設部の協力も受けながら、各種の地域貢献を推進した。これら取り組みによる評価や、その取り組みを通して共に活動した人・部署との信頼関係を構築することは、これからの公共事業における建設技術とも言えるものと考えてるので、ここに主なものを紹介する。

(1) 目黒トンネルのロゴマークの活用

当工事は、地元産業（コンブ、ししゃも、毛ガニ、鮭）に重要な漁場に隣接しており、環境対策と共に、地元の方と良好な関係を築いていくことが重要な課題の一つであった。

そこで、地元の方に親しみを感じてもらえるよう、えりもを象徴する、コンブ、えりも岬、岬灯台、アザラシをモチーフし、そこに赤いアーチでトンネルをイメージした工事のロゴマーク（図-10）を作成し、看板、工事情報など様々なものに活用した。

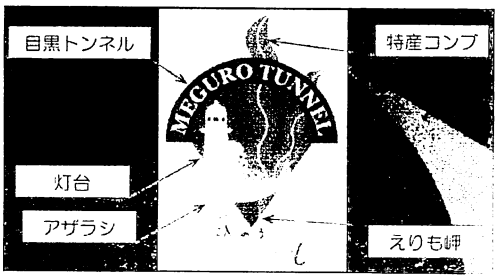


図-13 地元の象徴を用いたロゴマーク

(2) えりも町広報紙で定期的に工事状況を紹介

町企画課と協議し、町発行の広報紙に、工事情報のチラシを折り込んで地元住民に配布し、情報発信を行った（図-11、12）。



図-14 工事情報チラシ（表面）

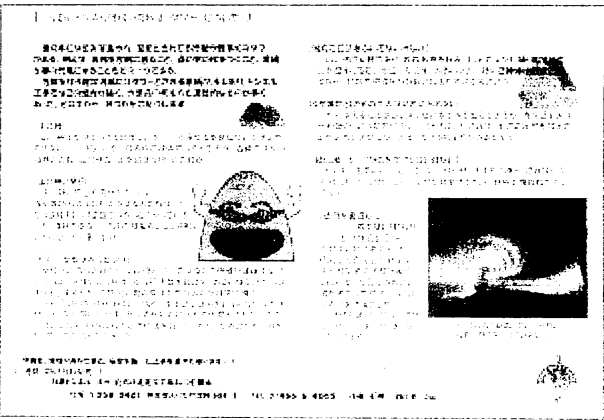


図-15 工事情報チラシ（裏面）

チラシには、一般の方に興味を持ってもらえるよう、専門用語を使わず、現況以外に、我々職員の私生活の紹介や、現場の様々な取組み、一般の方が知らない貫通の方法や貫通式の状況、トンネルのタブー等の特集してお知らせし好評を得た。

(3) 北緯42度地点 記念碑の寄贈

北海道には北緯 42 度の経線が通る海岸線が 4 箇所ある（図-13）。しかし、最東端となるえりも町百人浜付近には表示物がない。

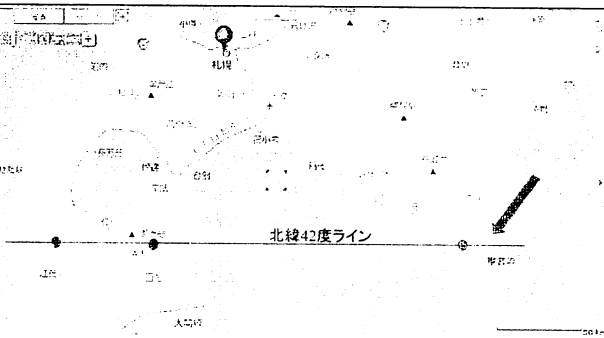


図-16 北緯 42 度線

えりも町には、住民で結成された「えりも町郷土資料館北緯 42 度の会」があり、観光地の一つとすべく、この表示物の設置が切望されていた。これに共感し、えりも町長の要望もあり、工事の合間に自らの手で製作した記念碑をえりも町に寄贈した。デザインは、目黒トンネルのロゴマークを引用し、えりもの地に工事の足跡を残すことができた。記念碑の設置も北緯 42 度の会や地元建設会社の方、町職員などが集まり、共にボランティアで行った。



写真-4 北緯 42 度記念碑と 42 度の会の皆さん

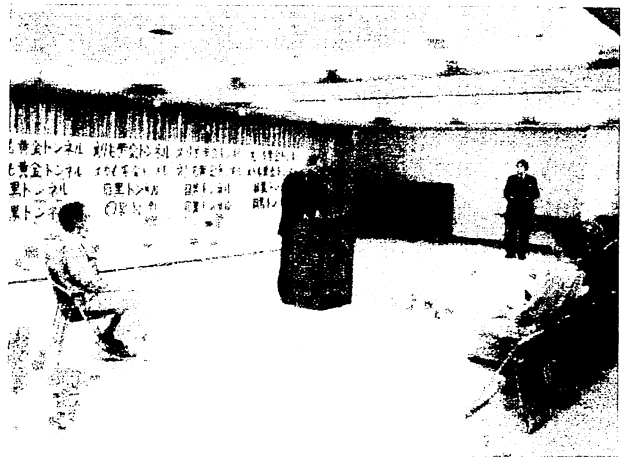


写真-6 銘版書道展選考会

(4) 教育委員会と協力し地元小学校4校の見学会実施

えりも町教育委員会に小学校の見学会誘致を持ち掛けた。その協力を得て、「目黒トンネルを見に行こう！」のキャッチフレーズでポスターを作り、4 日間に渡り、4 校の小学校の見学会を開催した。防水シートには延べ 250 人による、40m 以上に渡る壮大な落書きをしたり、背丈以上ある大きなタイヤのダンプトラックや重機に試乗したりと、楽しんでいただいた。見学会には児童の父兄も参加してもらったため、結果的に地元の方に本工事に親しみを持っていただけたと感じている。



写真-5 防水シートに落書きする小学生

(5) トンネル銘版書道展

将来、えりも町を背負って立つ小学生に、トンネルの銘板の文字を書かせられないかとの町長からの申し出があり、発注者から了承を得て、町長、教育委員会と協議を重ね、町内 5 校の高学年の児童からトンネル名を書いた書道作品を募集することとした。募集した作品から各校 4 点を選出し、5 校分の作品を、町長、教育委員会、各学校長、発注者、我々主催者が選考会を開き、各坑口用の作品を選定した。

(6) 銘版除幕式

選考された児童の文字を使用して、銘板の製作をし、集大成として、その児童、父兄を招いて、表彰式、および銘板の除幕式を行った。

表彰式では、銘板の製作過程や、トンネルの掘削方法を紹介するビデオを制作し、これを視聴し、銘板のレプリカ、賞状の授与を行った。その後、現地に移動し、完成した銘板の序幕を行った。特に父兄に喜ばれたのは、銘板の右下隅に文字の作者である児童の名前を彫り込んだことで、トンネルの入口に子供の名前が半永久的に残される。

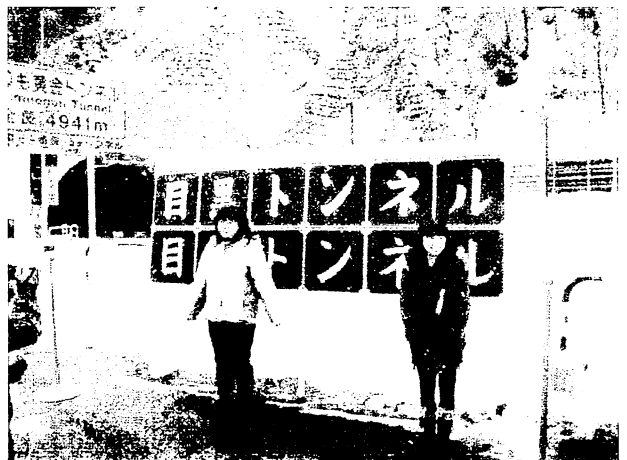


写真-7 銘版と文字が選ばれた小学生

(7) 町より感謝状の授与を受ける

海岸線で行うコンブ漁や鮭、ししゃも漁等の保全のため、各種環境保全対策を行い、地元産業と共存した工事を行った。また、毎月の町役場各部署への状況報告、町広報誌を活用した住民への情報発信、見学会から始まったトンネル銘板の製作など、各種取組みで町や地元と一体となり工事を進めたこと、そして、将来ある子どもたちに夢や希望を与える取組みを推進したことなどが評価され、工事竣工にあたり町長より感謝状をいただいた。



写真-8 感謝状授与

(8) 北海道開発局長より優良工事表彰

急崖部の計測管理方法を提案し、安定を確保して掘削した技術や、様々な取組み、無事故などを評価され、北海道開発局長より優良工事表彰をいただいた。



写真-9 表彰状授与

7. 最後に

急崖の安定を確認しながらトンネル掘削を行う必要がある場合、急崖自体の変位や崖面の亀裂の変動を計測観測することでその安定性を確認したり、壁面部の振動を測定して、設定した管理基準と比較して、健全度を確認したりすることがある。しかし、精度の高い計測管理を行うためには、いずれも崖面、崖下に人が近づく時間が長く必要であったり、頻度が多かったりといった危険性がある。また、崖面に変位が発生した時点で既に崩落の危険がある場合もあるだろう。この事例の様に崖部の挙動を直性測定するのではなく、トンネル周りの挙動を計測して、それがトンネル近傍に収まっていれば、急崖への影響もないという考え方で施工管理することは、想定以上の挙動が観測された場合、急崖部に影響が及ぶ前に掘削を中断し、対策を講じることもできる。よって、安全上も精度上も効果が高いと考える。類似する条件の工事で安全にトンネルを構築するために参考になれば幸いである。

また、当工事では地元産業がコンブ漁、さけ、シシャモ漁であり、環境保全に対する厳しい管理や、発破振動制御にも重点的に取り組んだ。さらに、ここに紹介した様々な地域貢献の取組み推進することで、最終的には高い評価を各所からいただき、且つ無事故で工事を完了できた。地元の方に親しみを感じてもらえる、高い品質のトンネルを構築できたと考えている。

参考文献

- 1) 合田佳弘, 福田和寛他, 上砂川CAES-G/Tパイロットプラント地下貯槽の気密試験結果, 2002

EXCAVATION OF TUNNEL THAT IS UNDER THE STEEPLY SLANTING CLIFF WHILE TAKING CARE OF ROCK STRAIN

Hiroaki ODA, Akira ISHIKURO, Kazuhiro FUKUDA and Makoto HIRAMORI

We have construct the tunnel called "Meguro" in Erimo-cho Hokkaido. On this construction work, we feared sudden large-scale fall of steeply slanting cliff. So, we have excavated this tunnel while doing measurement management by the strain meter of laying underground. We report on this case.