

# 寒冷地の山岳トンネルにおける最新技術の適用と効果 に関する一考察

山田浩幸<sup>1</sup>・佐々木博臣<sup>2</sup>・増田丑太郎<sup>3</sup>・田中啓司<sup>3</sup>

Hiroyuki YAMADA, Hiroomi SASAKI, Ushitaro MASUDA, Keiji TANAKA

<sup>1</sup> 正会員 (株) 鴻池組 本社土木事業本部 技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1)

E-mail:yamada\_hy@konoike.co.jp

<sup>2</sup> 東北地方整備局 岩手河川国道事務所 北上国道出張所 (〒025-0003 岩手県花巻市東宮野目第10地割55)

<sup>3</sup> (株) 鴻池組 東北支店 (〒980-0021 宮城県仙台市青葉区中央 2-9-27 プライムスクエア広瀬通)

近年、山岳トンネル工事における安全管理、作業環境改善、覆工コンクリートの品質向上対策に関しては、注目度が高く、新技術の開発が進められている。今回、東北横断自動車道釜石秋田線の二郷山トンネル工事において採用した安全管理としての光る変位計の設置、作業環境改善として取り組んだミストシャワーによる粉じん防止対策、覆工コンクリートの品質向上対策としての長尺引抜きパイプレータ、セントラルバーン養生、積算温度管理システムおよび電磁波レーダによる出来形管理といった最新技術の適用実績の紹介とその効果の検証について報告する。

**Key Words:** , Mountain Tunnel, Safety Management, Improved Quality, Work Environment Improvement  
New Technology

## 1. はじめに

近年、山岳トンネル工事における安全管理、作業環境改善、覆工コンクリートの品質向上対策に関しては、注目度が高く、種々の新技術の開発が進められている。

今回、新技術を適用した二郷山トンネルは、新直轄方式として国の事業として建設を進めている東北横断自動車道釜石秋田線のうち、遠野市に位置する延長 311m、掘削断面 102m<sup>2</sup>の道路トンネルである。

東日本大震災により、一部壊滅的な被害を受けた東北地方の本格的な復興工事の一部を担い、早期開通に向けた取り組みが進められている。

本報告では、安全管理、作業環境改善、覆工コンクリート（冬期施工）の品質向上を目的として採用した最新の技術の効果について考察する。

## 2. トンネルの概要

本トンネルの建設場所は寒冷地であり、トンネル

の掘削延長はL=309.5mと比較的短いため、外気温の影響を受けやすいうえ、覆工の施工が冬期となった。

また、坑口部のDⅢa区間やDⅠ区間には、崖錐層や割れ目の開口した石灰岩が存在し、石灰岩特有の溶食された空洞が、風化物や流入土砂で満たされた状態で存在する可能性があった。また、本トンネルは扁平大断面（扁平率0.57、内空幅約15m）で上半鏡面が大きく、鏡面の不安定化や切羽の崩壊が懸念された。さらに、山岳トンネル工事は狭隘な作業空間での作業となるため、トンネル坑内作業時には、効果的な粉じん障害防止対策が必要であった（写真-1）。



写真-1 坑内作業状況

表-1にトンネル概要を示す。

### 3. 最新技術の導入と効果

#### (1) 概要

前述のトンネルの特徴をふまえ、安全管理、作業環境改善、覆工コンクリートの品質向上の観点から、以下の最新技術を導入した。

- ①トンネル掘削時の安全管理のため、切羽近傍や吹付けコンクリートに光る変位計を設置。
- ②粉じん障害防止対策として、坑内粉塵低減のためのミスト発生装置(ミストシャワー)の設置。
- ③覆工コンクリートの品質向上のため、セントルバルーンによる養生、長尺引抜きパイプレータおよび積算温度強度管理システムを採用。
- ④出来形管理として、電磁波レーダーを使用した背面空洞の連続探査を実施。

最新技術の採用効果および施工における考察を以下に示す。

#### (2) 光る変位計による安全管理

坑口部のDⅢa区間やDⅠ区間には、崖錐層や割れ目の開口した石灰岩が存在し、石灰岩特有の溶食された空洞が、風化物や流入土砂で満たされた状態で存在する可能性があった。また、本トンネルは扁平大断面(扁平率0.57、内空幅約15m)で上半鏡面が大きく、鏡面の不安定化や切羽の崩壊が懸念された。

その対策として、トンネル掘削時の安全管理の目的で、トンネル切羽近傍およびインバート施工箇所

に光る変位計(写真-2、写真-3)を設置した。

光る変位計とは、簡易な構造により変位量を光の色の変化により可視化するツールで、地山に変位が生じると変位計の色が変わるので、周辺作業員は常時目視で変位をとらえることができ、作業時における安全性の向上に役立った。

#### (3) ミストシャワーによる粉じん対策

坑内湧水が少なかったこともあり、坑内粉塵が多く発生したが、発破掘削であるため、集塵機の設置は切羽から離さざるを得なかった。このため切羽から集塵機までの坑内環境がなかなか良化しなかった。

そこで、切羽周辺の粉塵低減対策として、送風管先端と集塵機の間(切羽後方約35~60m地点)にミスト発生装置を設置し、超微粒子の霧(ミスト)を発生させることにより、浮遊粉塵にミストを吸着させ、粉塵の拡散を抑制した(写真-4)。

この装置は作業工種(坑内環境)に応じて噴霧量を調整することができ、路盤を泥濘化させることなく坑内環境の改善ができた(同環境で5%低減)。

作業員からは「実際に目のチカチカがなくなった」と好評であった。

ミストシャワーの設置により、坑内粉塵の拡散が抑制され、切羽周辺の坑内環境が大きく改善した。



写真-2 切羽近傍における設置状況

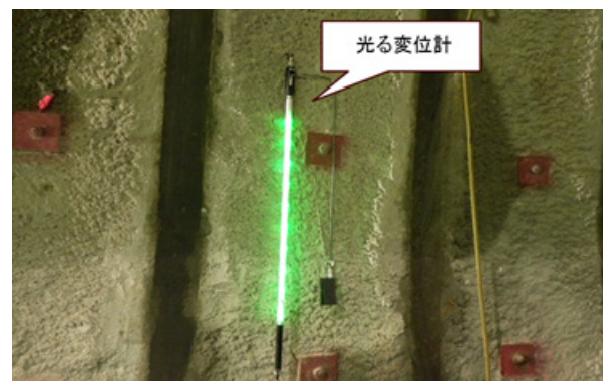


写真-3 吹付コンクリート監視状況

表-1 トンネル概要

|         |       |                                                                                                  |
|---------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工 事 名 称 |       | 東北横断自動車道 二郷山トンネル工事                                                                               |
| 工 事 場 所 |       | 岩手県遠野市綾錦町 地内                                                                                     |
| 工 期     |       | 平成24年3月～平成25年3月                                                                                  |
| 発 注 者   |       | 国土交通省 東北地方整備局 岩手河川国道事務所                                                                          |
| 施 工 者   |       | 株式会社 鴻池組                                                                                         |
| 工 事 内 容 | 延 長   | L=311.0m (掘削延長L=309.5m)                                                                          |
|         | 断 面   | 掘削断面積A=102㎡ (仕上がり内空A=84㎡)                                                                        |
|         | 施 工 法 | NATM                                                                                             |
|         | 掘削方式  | 発破工法                                                                                             |
|         | 掘削工法  | DⅢ、DⅠパターン (上半先進ベンチカット工法)<br>CⅡ (補助ベンチ付き全断面掘削工法)                                                  |
|         | 新 技 術 | 安全管理：光る変位計による計測結果見える化                                                                            |
|         |       | 粉じん対策：ミストシャワーによる粉じん量低減                                                                           |
|         |       | 品質向上対策<br>・長尺引抜きパイプレータの採用<br>・セントルバルーンによる覆工養生<br>・積算温度強度管理システムの採用 (見える化)<br>・電磁波レーダーによる背面空洞の連続探査 |
|         |       |                                                                                                  |

#### (4) 覆工コンクリート品質向上対策

覆工コンクリート品質向上対策として、

①トンネル覆工天端部締固めシステムの採用

②積算温度強度管理システムの採用

③セントルバルーンによる養生

④電磁波レーダーを使用した背面空洞の連続探査を実施した。

①のトンネル覆工天端部締固めシステムはあらかじめセットした長尺パイプレータを引き抜くことで覆工天端部の確実な締固めを行うものであり、無筋区間で採用した（写真-5, 6）。通常では、目視確認しながら締固めすることが難しい覆工クラウン部を確実に締め固めることができた。その結果、密実で均質なコンクリートを構築でき耐久性が向上した。



写真-4 ミストシャワー設置状況

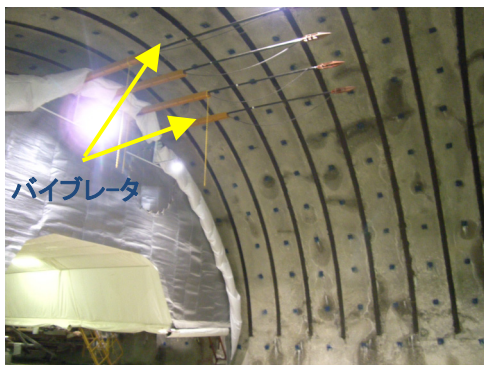


写真-5 長尺パイプレータ（引抜き状態）



写真-6 長尺パイプレータ設置状況（セントル内部）

②の積算温度強度管理システムを用いてセントル脱型管理を行った。本システムは、コンクリート温度を測定し、その積算温度からコンクリート強度を推定するので、養生条件や打ち込みコンクリートの条件に左右されず、コンクリートの推定強度がリアルタイムにモニタリングできる（写真-7）。

なお、脱型強度は、自重に対する応力検討結果（D I:1.99N/mm<sup>2</sup>, C II:1.49N/mm<sup>2</sup>）と剥落防止の観点から2N/mm<sup>2</sup>以上とし、低強度用シュミットハンマーで確認した（写真-8）。効果としては、コンクリート温度の実測値をもとにコンクリート強度を推定するので、養生条件や打ち込み温度に左右されず、実際に近いコンクリート強度が把握でき、養生不足によるクラック等が防止できた。

また、外部モニターにより見える化することで、職員や覆工作業員全員がリアルタイムに推定強度を確認できるため、養生不足を防止するとともに、実作業上の段取りが付きやすく施工性も向上した。



写真-7 積算温度強度管理システム



写真-8 低強度用シュミットハンマー

③のセントルバルーンによる養生は、セントル全体を断熱シートで覆い、セントルセット完了時からコンクリート打設、養生、脱型まで打設コンクリートに悪影響を及ぼす坑内環境（低温、風）から遮断するものである（写真-9）。また、施工時期が冬期であったため、セントルバルーン内をジェットヒーターによる給熱養生を行った（写真-10）。

給熱に関しては、冷え込みに応じて、セントルセット完了時（打設前日）から打設中も実施し、酸欠防止に配慮しながら型枠の保温と打込みコンクリートの保温に留意した。セントルバルーンの採用により、貫通後における冬期施工という過酷な条件であったが、養生環境を概ね適切な状態（養生温度10℃～30℃）に保つことができた。



写真-9 セントルバルーン設置状況



写真-10 ジェットヒーターによる給熱養生（足元）



写真-11 赤外線ランプによる給熱養生（吹上げ口）

また、施工時には、養生温度をSL、肩部、天端部でモニタリングし、コンクリートの積算温度データにフィードバックした。ジェットヒーターの設置位置、台数を調整して天端と足元の温度差を低減させることにより、養生温度を保つようにした（天端部と足元では温度差が生じるため、温風の拡散と足元の密閉性を特に注意した）。

なお、表面剥離の予想される箇所（特に天端吹上口付近）については、必要に応じて局所的に赤外線ランプで給熱養生を実施した（写真-11）。

さらに、インバートコンクリートについても、終点側（貫通側）坑口付近については貫通後の気温低下や通風による凍結や乾燥収縮により品質低下、クラックの発生が懸念されたため、ブルーシートでインバート打設箇所を覆い、シート内をジェットヒーターで給熱養生を行った（写真-12、写真-13）。

以上述べたとおり、覆工コンクリート及びインバートコンクリート打設後の給熱養生により、貫通後の冬期打設という過酷な条件の中で、品質の向上が図れたものと考えられる。



写真-12 シート養生状況

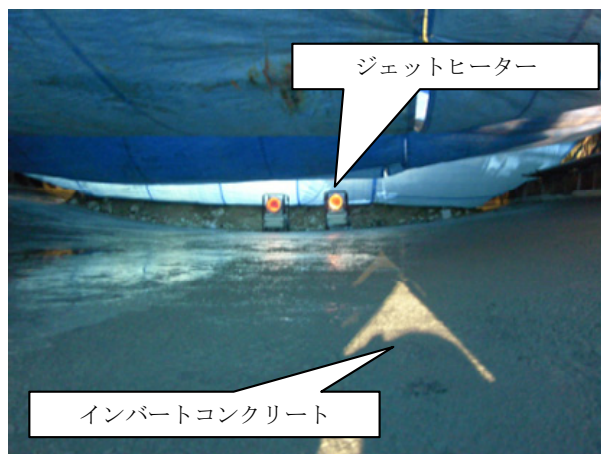


写真-13 ジェットヒーターによる給熱養生

なお、走行路面が未舗装で、路盤の不陸により、  
①探査しながら診断車を走行させることが難しい  
②足周りがキャタピラだと測定中にレーダーが覆工  
面から離れる。  
という懸念があったため、10t低床トラックに診断車  
を乗せて探査を行った（写真-14）。

覆工コンクリートの出来形を確実な方法で検証することにより、品質が確保されていることを確認できた。

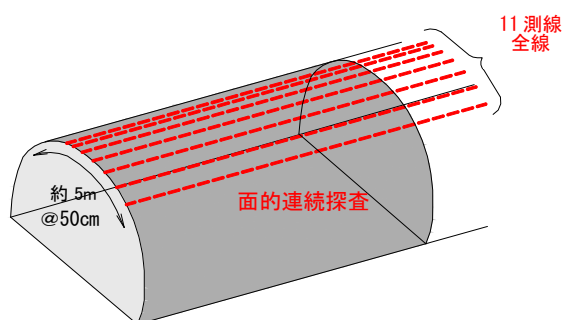
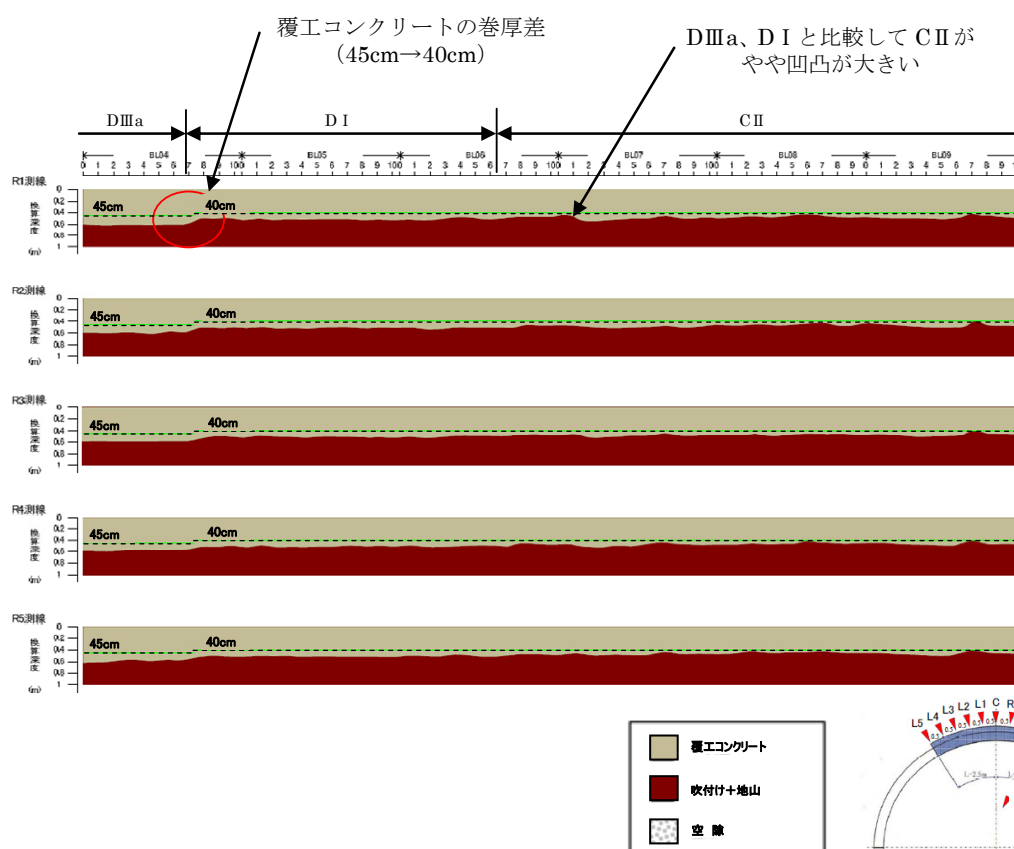


図-1 側線位置 (天端 5m 範囲 50cm ピッチ)



### 写真-14 空洞探查实施状况



空洞探査解析結果例  
(4～9 スパン右側；DⅢa～CⅡ)

図-2 測定結果の一例

#### 4. おわりに

近年、山岳トンネル工事における安全管理、作業環境改善、覆工コンクリートの品質向上対策については、注目が高まり、技術開発の進展とともに各機関で種々な取り組みが行われている。

今回報告した二郷山トンネル工事は、東日本大震災により、一部壊滅的な被害を受けた東北地方の本格的な復興工事の一部を担っていることもあり、早期完成に向けて工程的にも厳しく、覆工コンクリートの打設時期が冬期となったため、覆工コンクリートの品質向上による長期耐久性確保を目指して新技術を導入した。

また、山岳トンネル特有の狭隘な作業空間での作業、粉じん対策および天端コンクリートの確実な締固め作業といった施工上の課題に対しても新技術の適用により対策効果が確認できた。

さらに、電磁波レーダーを使用した背面空洞の連続探査による出来形管理により、将来変状の要因となる背面空洞の確認や巻厚不足といった課題についても検証できた。

今後、本トンネルにおける施工実績やノウハウを水平展開し、より良い品質のトンネルを構築できるよう努めていきたいと考える。

今回の報告が、同種トンネル工事の参考になれば幸いである。



写真-15 覆工コンクリート完了状況

#### 参考文献

- 1) 芥川真一,森翔矢,大村修一,山田浩幸：トンネル掘削工事中の安全管理における光る変位計の適用例,トンネル工学研究論文,pp.23-28,2009.11.
- 2) 芥川真一,野村貢,山田浩幸,片山辰雄：On Site Data Visualization の概念と岩盤工学における適用可能性について,岩盤力学に関するシンポジウム,pp.151-156,2010.
- 3) 山田浩幸,永井哲夫,大谷達彦,芥川真一：計測結果見える化技術の適用とその効果に関する一考察,トンネル工学報告集,第21巻,pp.153-160,2011.
- 4) 佐々木博臣,増田丑太郎,田中啓司,山田浩幸,高田篤,福井正規：山岳トンネルにおける最新技術の採用,土木学会年次講演会講演集,VI-278,2013.

(2013. 9. 2受付)

## A STUDY ON THE APPLICATION AND THE EFFECT OF NEW TECHNOLOGY IN A COLD DISTRICT MOUNTAIN TUNNEL

Hiroyuki YAMADA, Hiroomi SASAKI, Ushitaro MASUDA, Keiji TANAKA

In recent years, about the safety control in mountain tunnel construction, the work environment improvement, and the measure against improved quality of concrete lining, the degree of attention is high and development of new technology is furthered.

This time, new technology was adopted in the Futagoyama tunnel of a northeast transversal expressway Kamaishi -Akita line. The safety measures by the Light Emitting Deformation Sensor were implemented. As a work environment improvement, the measure against a particulate by a mist shower was tackled. As a measure against improved quality of concrete lining, the curing technology and cavernous occurrence prevention technology which the cold district was considered were tackled.

Introduction and verification of an effect of the application track record of such state-of-the-art technology are reported.