

# 山岳トンネルの斜坑・本坑交差部における設計・施工について The Design and construction at intersection of main Tunnel and inclined branch Tunnel

中谷 真英\*

Masahide Nakatani

鈴木 晴美\*

Harumi Suzuki

梅田 克史\*

Katsushi Umeda

諏訪 至\*\*

Itaru Suwa

## 要 約

当該工事は、北海道新幹線の新函館北斗～札幌の延伸工事のうち倶知安・新小樽駅間にある全長 17,990 m の後志トンネルの内、北上沢工区のトンネル本坑 4,600 m 及び斜坑 465 m を施工する工事である。当該トンネルは斜坑を掘削後本坑に接続していく計画であるが、一般にこの交差部においてはトンネルエッジ部分の応力集中が問題となる。しかしながら、当初設計においてこの部分の設計・施工方法が考慮されていなかったため、受注者において実施することとなった。

また、施工計画策定時には複雑な施工ステップを 3 次元化することによって、綿密なシミュレーションや打合せを実施し、関係者全員の施工方法に関する意思統一を図り、安全な施工が達成できた。

## 目 次

1. はじめに
2. 工事概要
3. 斜め支保工採用の背景
4. 設計から施工へ
5. まとめ

## § 1. はじめに

北海道新幹線は、新青森駅を起点として、青函トンネルを通過し、札幌市に至る延長約 360 km の新幹線鉄道で、関東・東北圏などと直結する北海道の大動脈として地域発展に大きく寄与する路線である。

現在（2019 年 3 月）、新青森・新函館北斗駅間が開業されており、新函館北斗～札幌駅間の延伸工事を平成 42 年（2030 年）度末を完成・開業予定とし事業が進められている。（図－1 参照）

当工事はこの延伸区間である倶知安・新小樽駅間にある全長 17,990 m の後志トンネルの内、北上沢工区のトンネル本坑 4,600 m 及び斜坑 465 m を施工する工事である。本稿では、全国的にも事例の少ない、斜坑・本坑との交差部の施工実績について報告する。

## § 2. 工事概要

### 2-1 トンネル諸元

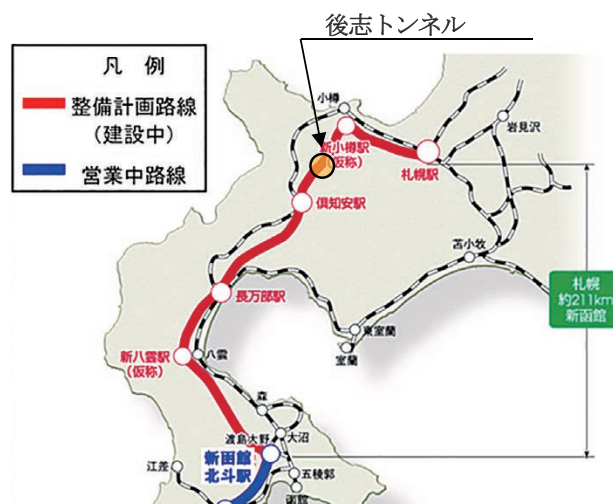
延 長：斜坑 465 m

：本坑 4,600 m

掘削断面積：75～81 m<sup>2</sup>

掘 削 工 法：補助ベンチ付全断面掘削方式

掘 削 方 式：発破および機械掘削方式



図－1 後志トンネル位置図

\* 北日本（支）新幹線後志（出）

\*\* 土木設計部設計二課

## 2-2 地形・地質概要

工事箇所である赤井川村は、北側に大登山（標高 570 m）から青木沢（標高 617 m）に東西方向に伸びる標高 600 m 前後の稜線がある。稜線より南側（赤井川村）は、標高 400～500 m の山体であり、大登山より分岐した稜線が北東～南西ないし南北方向に伸び、赤井川カルデラのカルデラ壁の一部を形成している。本トンネルは、山体の東側斜面であり、比較的緩い傾斜をもつ山体間を青獅子沢や北上沢が南に流下する。これらの河川に注ぐ沢は斜面を樹枝状に開折し、いずれも比較的浅く開けているのが特徴である。

本トンネル周辺に分布する地質は、新第三紀中期中世期大和層の安山岩火山礫岩・凝灰岩、後期中新世山沢層の安山岩角礫岩・凝灰岩及び安山岩溶岩、大和層と同時期の小樽内川期に貫入したプロピライトよりなる。これらの地層は、海底火山活動に伴い噴出、堆積した水冷破碎岩（ハイアロクラスサイト）を主体とし、場所、層準により変質作用や鉱化作用を強く被っている。また、周辺には、松倉高山（重晶石）をはじめ銅得、鵬富、大和（いずれも銅）の鉱山跡がある。トンネルルートはこれらの鉱山跡や鉱化帯を通過しているため、酸性水の発生や有害成分を含む排水およびズリの処理などが問題となる。

## §3. 斜め支保工採用の背景

本トンネルの本坑には斜坑を使用して進入する計画になっていた。しかしながら当初契約では本坑と斜坑の交差部の設計は別途協議になっていた。このため、交差部の設計、および施工方法の検討が必要となった。

## §4. 設計から施工へ

### 4-1 交差部の地山物性値

図-2 に示す地質縦断面図より、交差部の地質は、中期中新世大和層群安山岩火山礫岩・凝灰岩であり、地山物性値は事前の調査ボーリングデータを参考にして、弾性波速度を  $V_p=2.5 \text{ km/s}$  とした。

### 4-2 設計から施工へ

補強範囲は文献 1) の以下の記載を参考とした。「本坑トンネルと分岐トンネルの交角が  $90^\circ$  の場合、トンネルスプリングラインでは、約 60% の応力の増加となる。本坑トンネル軸方向への影響範囲は分岐トンネル径の 1.0 倍、分岐トンネル方向へは本坑トンネル径の 1.0 倍程度である」。本坑の掘削径は  $D \div 10.5 \text{ m}$  であることがら、本坑内交差部センターより起終点それぞれ 10.5 m、計 21 m の範囲を補強範囲とし、斜坑側には本坑交点より 10.5 m の範囲を補強区間とした（図-3 参照）。

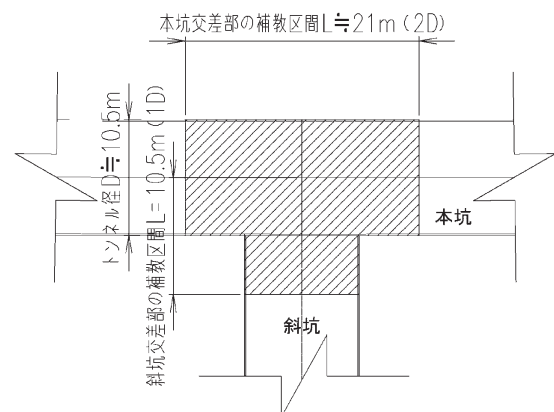


図-3 交差部影響範囲

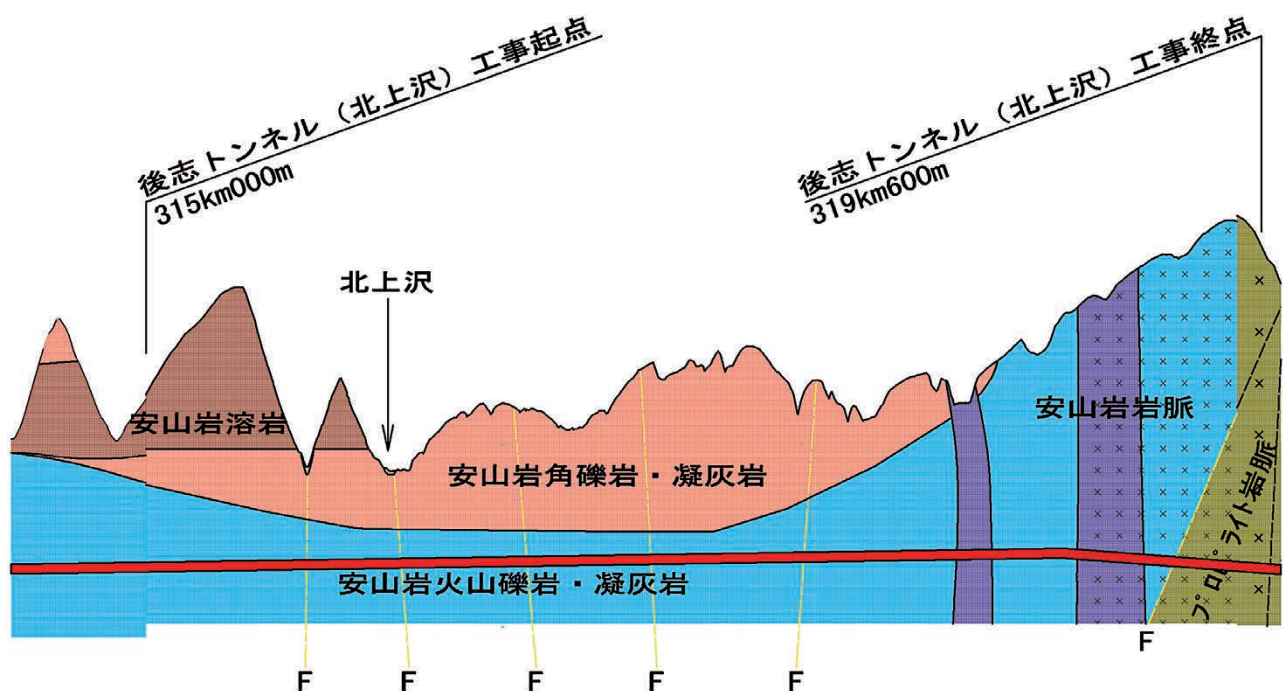


図-2 地質縦断面図

#### 4-3 交差部門型支保工の構造検討

トンネル交差部の本坑断面はトンネル軸に直交する一次支保の脚部が取り払われる形となるため、その部分をH型鋼で受ける必要がある。このため平面骨組解析による計算により民型支保工の構造を決定した(図-4, 5 参照)。

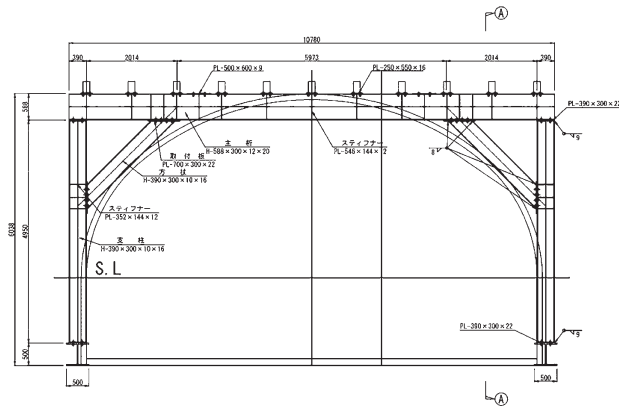


図-4 門型支保工図(正面図)

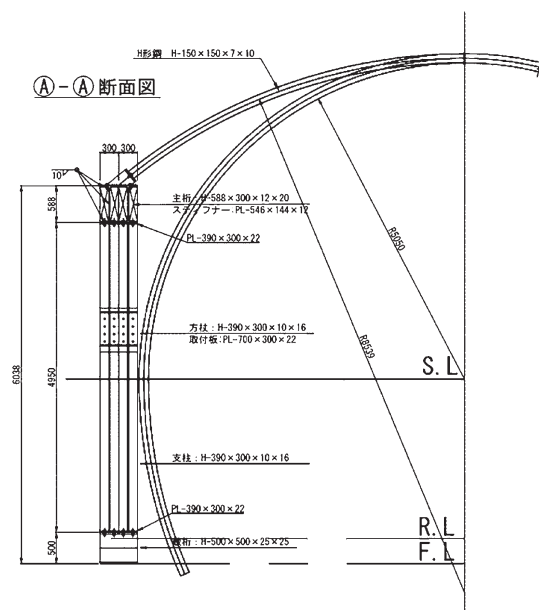


図-5 門型支保工図(側面図)

#### 4-4 斜坑交差部の補強構造の検討

斜坑の一次支保の補強は本坑交差部の補強構造を参考とした。本坑側の検討では、配置間隔1mピッチとしてロックボルトの内圧効果を平面骨組計算に反映させた計算としている(図-6 参照)。よって斜坑標準断面でのパターンボルトの本数が上半8本・下半2本であったのに対し、補強区間では本坑同様1mピッチでロックボルトを設置した。(図-7, 8 参照)。

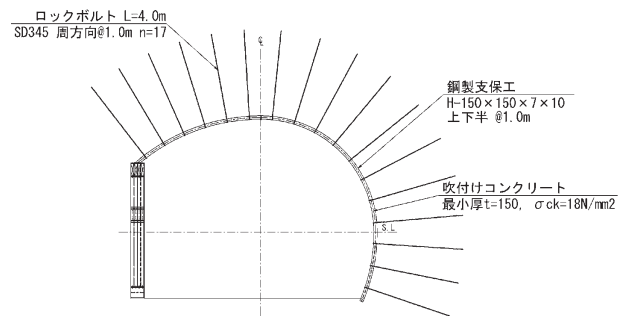


図-6 交差部補強仕様(本坑)

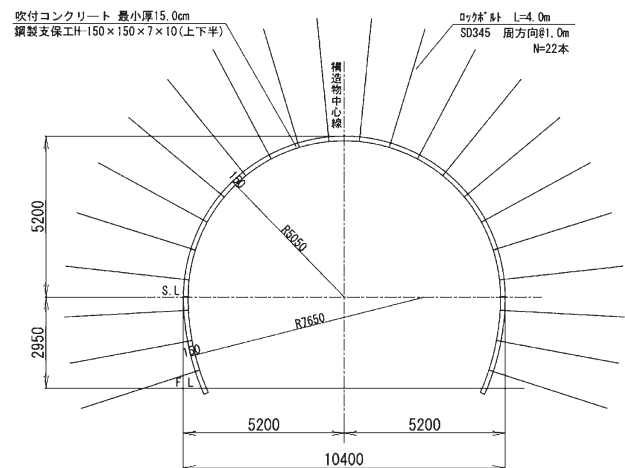


図-7 本坑補強仕様(影響範囲)

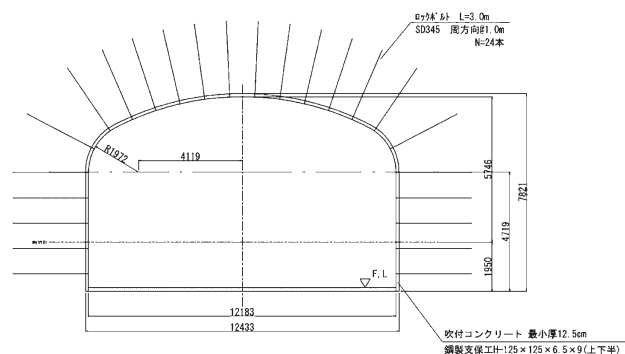


図-8 斜坑補強範囲(影響範囲)

#### 4-5 施工方法の検討の検討

交差部の施工方法は以下の2つの案について検討を行った。検討結果を表-1に示す。

- 第1案：本坑断面直接掘削方式
- 第2案：導坑進入拡幅掘削方式



表一 交差部施工方法比較表

| 比較項目            | 第1案：本坑断面直接掘削方式                                                                                                                                                                                                                                  | 第2案：導坑進入拡幅掘削方式                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 施工概要図           |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 施工手順<br>(1日=2方) | <p>斜坑掘削(本坑掘削付) ※両案同距離とするため交点より起終点それぞれ121mの日数</p> <p>本坑直角拡幅掘削</p> <p>仮設支保工建込</p> <p>補強(門型)・交差部本坑支保工建込</p> <p>終点側本坑掘削(仮設支保工撤去)</p> <p>起点側本坑掘削(仮設支保工撤去)</p> <p>起点側本坑掘削(工事起点まで)</p> <p>終点側本坑掘削</p> <p>計 20.0日</p>                                   | <p>斜坑掘削(本坑掘削付) ※両案同距離とするため交点より起終点それぞれ121mの日数</p> <p>導坑掘削(曲線)</p> <p>導坑掘削(本坑断面掘削付)</p> <p>補強支保工(門型)設置</p> <p>起点側本坑掘削(工事起点まで)</p> <p>本坑掘削(導坑縫返し)</p> <p>交差部掘削</p> <p>終点側本坑掘削</p> <p>計 23.0日</p>                                                                        |
| 地山・トンネルの安定性     | <ul style="list-style-type: none"> <li>本坑拡幅(大断面)掘削を行うため、断面増大による応力増加が懸念される。</li> <li>斜坑からの離隔距離が極小のため、大断面をマイクロベンチ・ミニベンチで掘削することとなる。地山状況によっては切羽の安定性確保が困難となる。</li> </ul>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>導坑(小断面)での進入となるため、地山の掘り範囲を小さくすることができる。</li> <li>導坑区間は縫返しを行い本坑断面に拡幅するため、急激な応力開放の影響を低減することができる。</li> </ul>                                                                                                                       |
| 施工安全性           | <ul style="list-style-type: none"> <li>交差部本坑支保工建込時には、重機車両を横向きにするため拡幅断面が必要となる。それに伴い掘削土量が増大する。</li> <li>交差部掘削が短期間で完了するため、狭小なヤードでの作業期間が短い。</li> <li>大断面のマイクロベンチ・ミニベンチ掘削となるため、地山不良の場合に切羽崩落の危険性が高まる。</li> <li>仮設支保工撤去時は、切羽での掘削作業が長時間におよぶ。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>小断面での進入となり先行ボーリング等で把握できなかった地山状況を把握できるため、交差部の安定性照査を確認できる。</li> <li>地山状況に応じた掘削工法を選定できるため、突発的な不良地山への対応が容易である。</li> <li>掘進方向の転換が1度で済むため、電気・配管等低設備の設置・撤去が煩雑にならない。</li> <li>曲線部を重機車両が往来するため路路維持対策が必要となるとともに、挟まれる危険性が高まる。</li> </ul> |
| 経済性             | <p>▲ 本坑拡幅に伴う掘削土量の増大、拡幅剛支保工の使用</p> <p>○ 工程短縮に伴う経費減</p> <p>○ 収付コンクリート体積小(材料・処分費)、鋼材使用量小</p>                                                                                                                                                       | <p>▲ 収付コンクリート体積大(材料・処分費)、鋼材使用量大</p> <p>○ 掘削土量の大きな増大はない</p>                                                                                                                                                                                                           |
| 総合評価            | <p>工程・経済性において優位にたつが、大きな差ではない。先進ボーリングにて地質調査を行うが、既往ボーリングデータも少なく地山状況の把握には至っていない状況において、地山不良時の対応に難があり安全性にも問題があるのは大きなリスクである。</p> <p>○</p>                                                                                                             | <p>狭小なヤード(導坑曲線区間)での作業が長期化となるが、斜坑断面は確保しており大きな問題はないと考える。導坑により地山状況把握を行い交差部安定性照査の確認を行えることから、将来にわたる長期的な安定を担保できる。また、突発的な切羽状況の変化にもフレキシブルに対応可能である。</p> <p>◎</p>                                                                                                              |

第1案の本坑断面直接掘削方式は、交差部に直線的に拡幅断面で進入し、起点側終点側両方向に支保工を撤去しながら掘削を行う方法である。第2案の導坑進入拡幅掘削方式は、交差部に曲線的に進入し本坑に擦り付け掘削を行った後、反対方向へ導坑区間の支保工を撤去しながら縫い返し、本坑を切り広げ掘削を行う方法である。第1案では掘削断面積が大きいので、短期間での施工が可能である。また、直線的であるので測量においても優位である。しかしながら、断面拡大に伴って応力増加が予測されるのと、マイクロミニベンチ掘削になるため、地山不良時の切羽崩落が考えられる。第2案では、小断面での掘削となるので、ボーリング等の事前調査では把握できなかった地山状況の把握ができ、地山状況に応じた掘削方法が選定できる。しかし、狭隘な空間での作業が増加するため、重機の接触による事故の発生が懸念され、第1案に比較して、工程的に不利になってしまう事が懸念されていた。これら2つの案を全体的に比較した結果、既存のボーリングデータが少なく地山状況の把握ができていない状況において、切羽状況の変化に柔軟に対応できる第2案を採用した。

#### 4-6 施工計画の検討と実施

交点部での施工順序を明確に指示するため、Trimble社のフリーソフトであるSketchUpを使用し、交差部の

3次元モデルを作成し、施工順序を可視化して関係者全員の施工方法に関する意思統一を図った。(表-2参照)。以下に第2案の施工方法について記述する。

#### 【第2案施工順序】

- ① 斜坑の終点部に門型支保工の設置用拡幅支保工を設置する。掘削は発破掘削で行う。拡幅支保工は4基とし、出来る限り余掘りを少なくするため門型支保工とのクリアランスは100mm程度としたので、門型支保工の建込みには施工精度が求められた。
- ② 本坑内の導坑断面の選定は、表-2中の平面図に示すように、ドリルジャンボの軌跡から決定した。この区間の施工は掘削と測量の同時進行が必要だったので、掘削方法は機械掘削方式として、職員体制も昼夜勤で対応した。写真-1に施工状況を示す。
- ③ 本坑断面への擦り付け区間の掘削は、本坑の設計支保パターンが上半のみ鋼製支保工を設置するパターンであることから、マイクロベンチ工法を採用した。地山が比較的堅硬であったため、機械掘削では非常に時間がかかってしまったため、途中より発破掘削に変更した。職員は昼夜体制で対応した。

- ④ 門型支保工設置の設置方法は、工場製作の段階で分割して製作し、現地搬入前にある程度地組みを行ってからローディングショベルを使用して施工した。
- ⑤ 本坑起点側の掘削距離は次のステップの縫い返しの際に必要な重機ヤードを確保するため上半 36 m, 下半 32.4 を掘削距離とした。
- ⑥ 交差部の縫い返し時に、交差部到達までは、斜坑とのアクセスが遮断される恐れがある。このため非常時の脱出用としてφ800 の高密度ポリエチレン間を

設置した。また、バックヤードが施工済みのため、擦り付け部縫い返し箇所では、トンネルマーキングシステムを使用した。写真-2 に施工状況を示す。

## § 5. まとめ

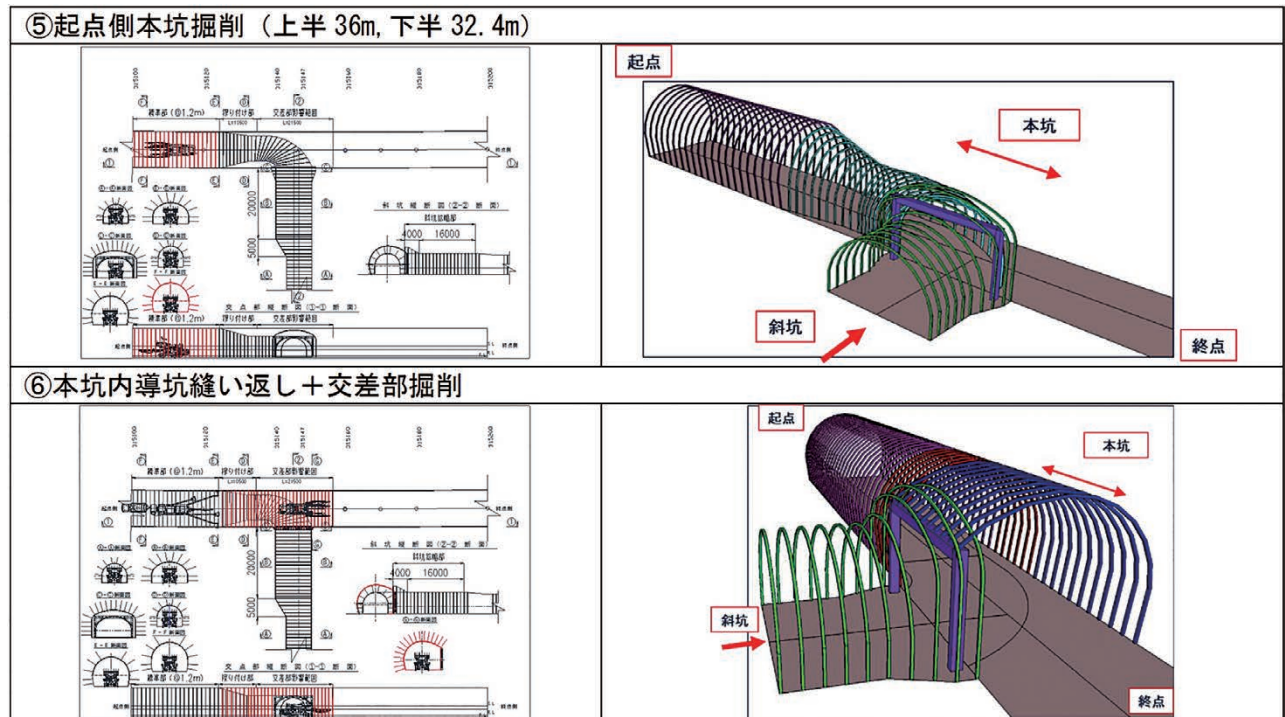
後志トンネルは、交差部の施工を安全に完了することが出来た(写真-3)。この時、交差部周辺に変状などが生じることなく、安全に施工を終える事ができた。これは事前に施工ステップの3次元化を行い、綿密なシミュレーションや事前打ち合わせを行い、関係者全員に施工

表-2 交差部施工順序 (その1)

|                                           |  |
|-------------------------------------------|--|
| <p>①斜坑掘削 (門型支保工設置拡幅)</p>                  |  |
| <p>②本坑内導坑 斜坑(曲線区間)掘削</p>                  |  |
| <p>③本坑内導坑 本坑縫い返し区間+本坑断面擦付け 斜坑(曲線区間)掘削</p> |  |
| <p>④門型支保工設置拡幅</p>                         |  |



表一 交差部施工順序（その2）



写真一 導坑掘削状況（ステップ2）



写真二 本坑縫い返し状況（ステップ6）

方法の意思統一が図られていた事が大きな要因と考えられる。また、本トンネルの交差部の地山状況は比較的良好であったため、肌落ち等の危険性が少なかった事も大

きな要因の1つである。事前ボーリングデータが少なかったため突発的な不良地山の出現にも臨機応変に対応できる導坑進入拡幅掘削方式を採用した施工事例は今後のトンネル交差部の設計施工を行う上での一助になれば幸いである。



写真三 交差部施工完了状況

謝辞。交差部について、ご指導を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本トンネル技術協会：山岳トンネルの坑内交差部の設計施工に関する研究報告書：昭和60年2月。