

AGF-WOO工法を用いた横坑施工

岩永茂治* 木村晃* 平石富茂* 丸居良吉* 川端一史* 大畑雅義*

三本木原トンネルは、土被り2~45mで洪積台地の下を貫く、新幹線複線断面トンネルで、全長4,280mの内1,265mをNATMで、3,015mを新たに開発したSENSを用いて掘削した。

本線500m間隔に設置される横坑（器材坑）施工は、NATM区間においては地下水位低下工を併用して切羽近傍で実施されたが、SENS区間では、一次覆工完了後の施工となることから、水位低下対策や掘削補助工法などを検討した結果、AGF-WOO工法を採用し、無事完了したので報告する。

キーワード：SENS、注入式長尺鋼管先受け工、AGF-WOO工法、浸透注入

1. はじめに

三本木原トンネルは、東北新幹線（八戸・新青森間）に建設される19本のトンネルの内、最長となる八甲田トンネルについて2番目の長さ（延長4,280m）となる新幹線複線トンネルである。平成13年8月から新青森方よりNATMで施工開始したが、地下水位が高く未固結な砂質土層と粘土層との互層で予想以上に複雑な地層のため、流砂現象を伴い切羽の崩落が度重なり掘削中断を余儀なくされた。（Photo. 1）

そのため、施工法の再検討の結果、新たな施工システムとして開発した「シールドを用いた場所打ち支保システム（SENS：Shield, ECL, NATM, Systemの頭文字）」を用いて八戸方より掘進を行い、平成18年11月に無事本坑掘削が完了した。

本報告は、SENS区間の内、高水位かつ脆弱地質個所における横坑（器材坑）で実施したAGF-WOO工法（All Ground Fastening-Wonder Once Operation system）について行う。



Photo. 1 NATM区間における切羽崩落状況

2. 横坑（器材坑）の概要

2.1 地質概要と検討事項

器材坑位置での地質分布例（器材坑No.2）をFig. 1に示す。

また、地質縦断と器材坑の位置をFig. 2に示す。野辺地層砂質土層Nos 1は細粒分含有率 $F_c=4.6\sim 11.8\%$ 、均等係数 $U_c=3.7\sim 6.7$ 、透水係数 $k=4.4\times 10^{-4}\text{cm/s}$ 、で地下水により流動化しやすく、NATM施工時の切羽崩壊の原因となった。Nos 1層の下部には粘性土層のNocがあり、これらの層境では地下水の影響を受けやすい状態となっている。このため、器材坑の掘削をNATMで行なう場合に、掘削影響による変形が大きくなると地山物性の劣化により、器材坑掘削断面内への地下水流入が進み崩壊の危険性が増す懸念がある。このため、地下水位低下の工法や掘削補助工法の検討が必要と考えられた。

また、本坑を場所打ちライニングを用いたシールド工法（SENS）ではスーパーパフォーマンスコンクリート（SPコンクリート）で支保していることから、器材坑掘削時に必要な一次覆工コンクリートの取り壊しによる本坑への影響～開口部補強なども検討する必要がある。上記補助工法等の検討とあわせてこれらの事前解析を行った。

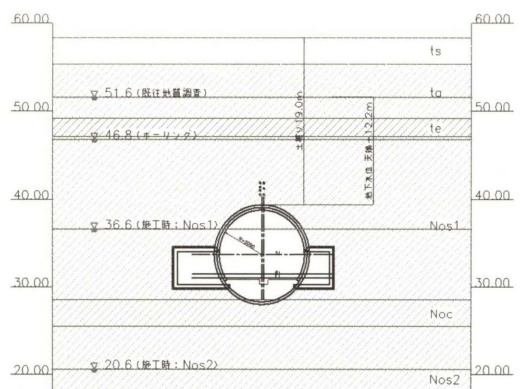


Fig. 1 No. 2 器材坑部地質横断図

* 東北支店 三本木原トンネル作業所

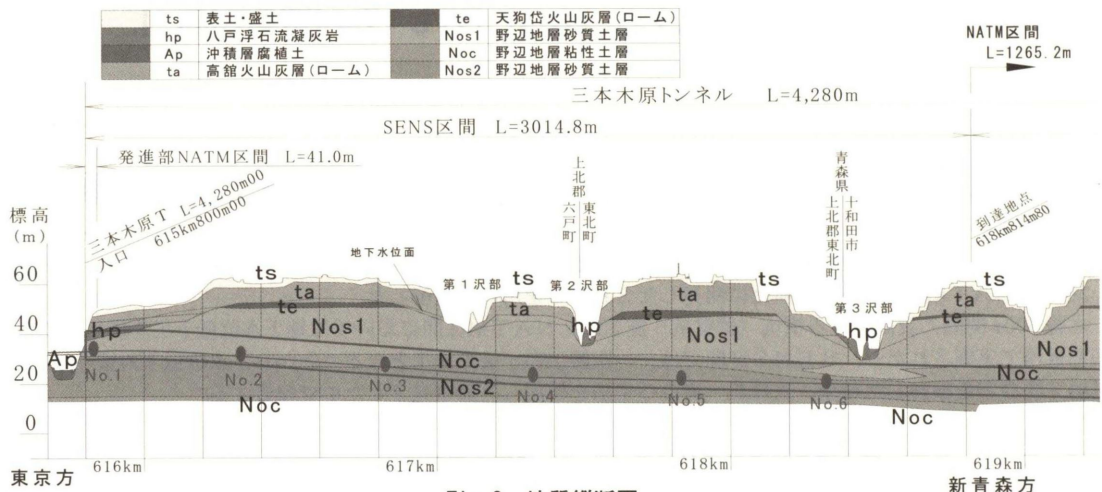


Fig. 2 地質縦断面図

2.2 事前解析

SENS区間ではFig. 2のNo.1~No.6の6断面9箇所にて器材坑が設置される。事前解析では、まず器材坑設置断面における本坑一次覆工の構造安定性の検討および器材坑二次覆工構造の検討を行なった。荷重は土圧と水圧を考慮した。

解析の方法としては、骨組構造解析を用いた。解析モデルをFig. 3に示す。

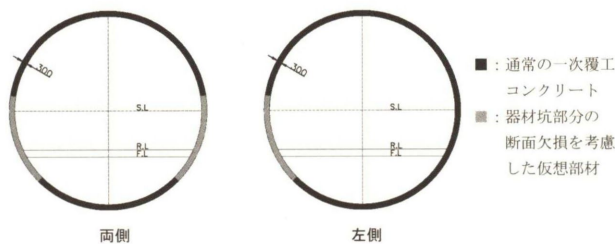


Fig. 3 解析モデル (本坑一次覆工)

解析結果として、本坑一次覆工の発生断面力は、設計基準強度 $F_{ck}=30\text{N/mm}^2$ 、厚さ 30cm の無筋コンクリートの許容応力内 (F_{ck} の 1/3) となり、器材坑を施工しても構造は安定している。しかし、骨組構造解析ではFig. 4に示すような開口部の3次元効果を再現しきれないことから、器材坑接合部の応力状態を明らかにすることを目的として、3次元シェル解析を行なった。

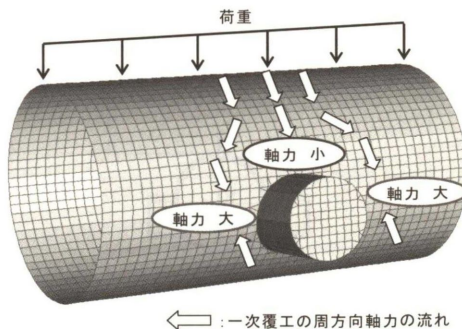


Fig. 4 一次覆工における発生軸力

解析結果は本坑・器材坑ともにほぼ許容応力内で安定することが明らかとなった。(Fig. 5~Fig. 8)

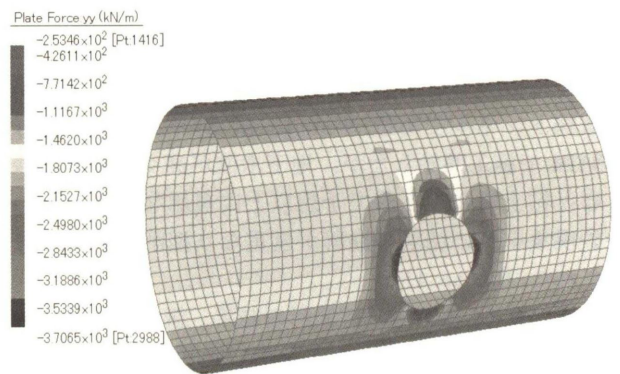


Fig. 5 解析モデル (本坑一次覆工)

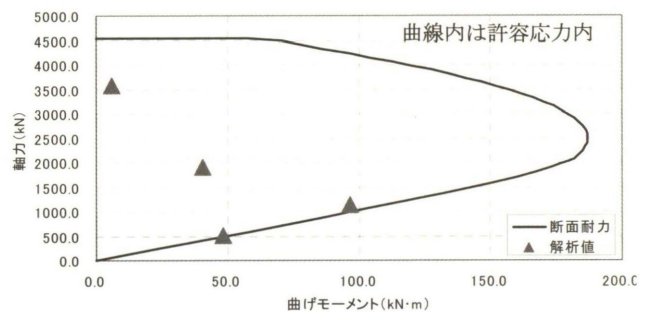


Fig. 6 断面耐力曲線 (本坑一次覆工)

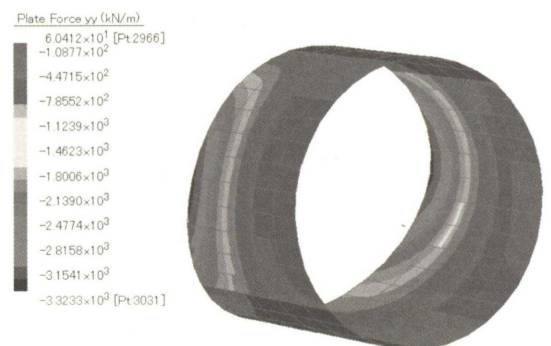


Fig. 7 解析モデル (器材坑二次覆工)

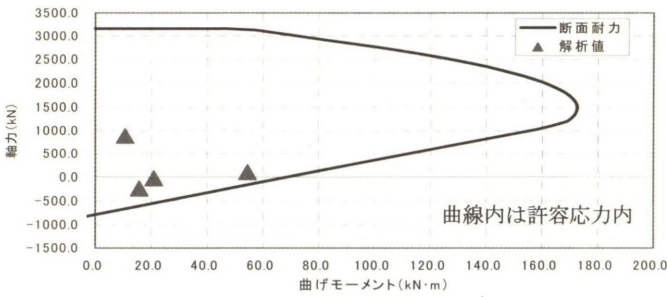


Fig. 8 断面耐力曲線 (器材坑二次覆工)

3. 施工方法の検討

事前解析では、器材坑掘削時の作業に伴う振動の影響や、本坑ならびに器材坑掘削に伴う先行変位による地山物性の劣化については明確に表現できないため、SP コンクリートの取り壊し方法、地下水位の十分な低下による流砂防止ならびに変位抑制対策が必要と考えられた。

地下水位低下対策については、NATM 区間では地上からのディープウェルを行ってきたが、挟み層の存在や工事費の面から、坑内からのウェルポイントの試験施工を行なって水位低下の状況を確認することとした。

また、SP コンクリートの取り壊しにおいては、大型ブレイカーなどの振動機械では、予測不可能な力が掛かる恐れがあることから、ウォールソーによる切断方式とした。

器材坑の切羽前方の地山を補強する為に、注入式長尺先受け工を施工することとした。注入はシリカライザーによる浸透注入方式とし、鋼管の剛性に優れた無接合タイプの AGF である AGF-W00 工法を採用し、支保工脚部までの全周打設することで、先行支保効果を期待した。器材坑の標準パターンを Fig. 9 に示す。

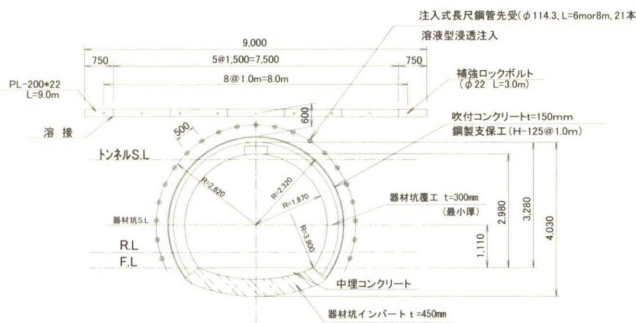


Fig. 9 器材坑標準パターン図

4. 施工結果

4.1 地下水位低下対策

地下水位低下対策を Fig. 10 示す施工フローで行った。まず、合理的な地下水位低下工法を目指して本坑より水

抜きボーリングを実施した。湧水の状況及び、器材坑上部に設置した水位観測孔の水位低下が図れない場合は、ウェルポイント、ディープウェルを検討することにした。

水抜きボーリング施工時は、削孔と同時に土砂が流出することを想定し、特殊バルブを削孔口に取り付けることとした。水抜きボーリングの標準パターンを Fig. 11 に示す。

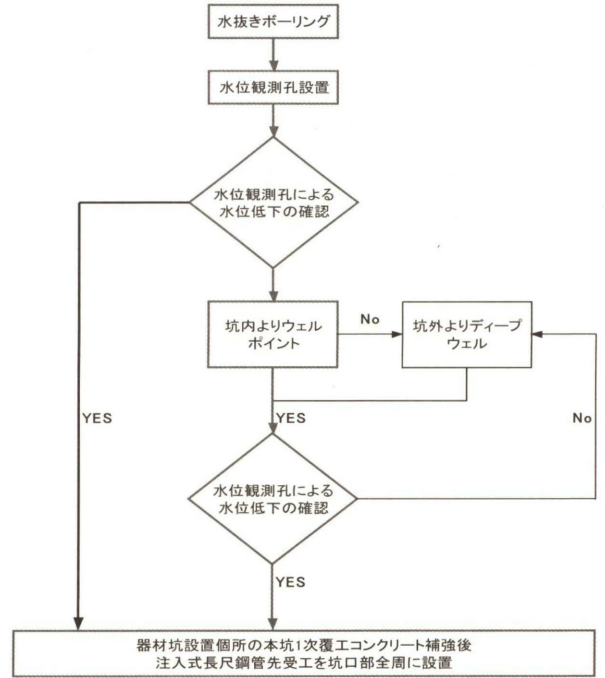


Fig. 10 地下水位対策施工フロー

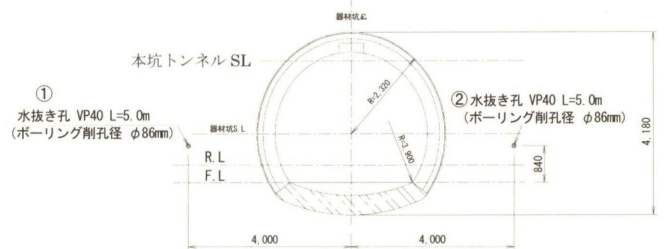


Fig. 11 水抜きボーリング標準パターン図

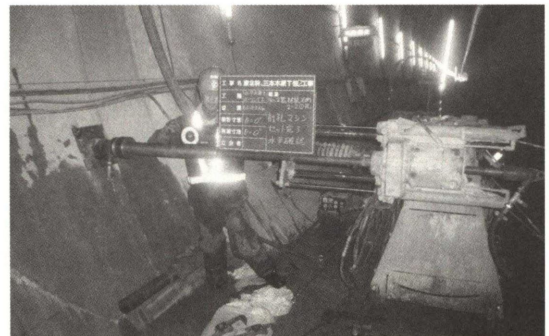


Photo. 2 水抜きボーリング施工状況

水抜きボーリングの結果、No.2 器材坑では約 300 ㎥/分の湧水量が測定され、工事にあたっては、①流砂による地山崩壊 ②地下水位低下が早期に見込めない ③水圧でAGF薬液注入効果が得られない、等の問題が想定された為、事前にAGF計画位置の外周にウエルポイントを設置し地下水位の低下を図った。(Fig.12, Fig.13)

ウエルポイントの設置状況を photo.3 に示す。

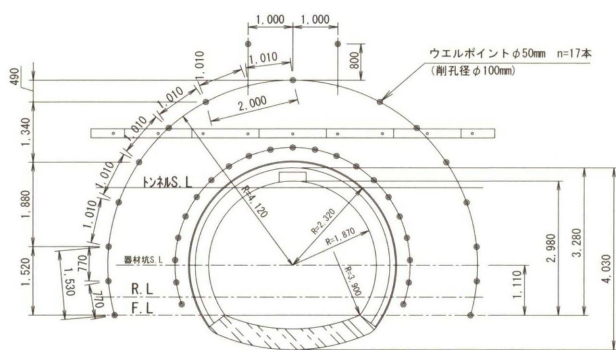


Fig. 12 No. 2 器材坑 ウェルポイント断面図

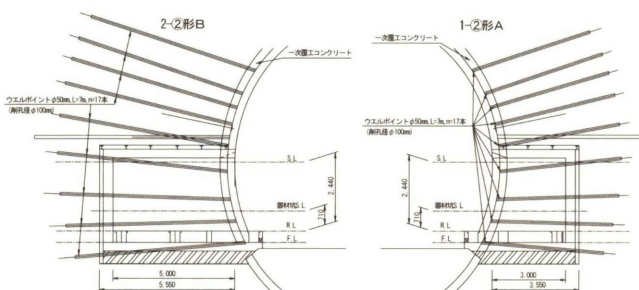


Fig. 13 No. 2 器材坑 ウェルポイント側面図

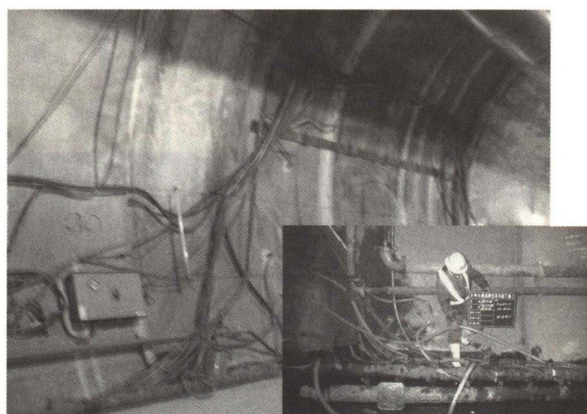


Photo. 3 No. 2 器材坑 ウェルポイント設置状況

4. 2 AGF-WOO工法

4. 2. 1 工法の概要

AGF-WOO工法は、既存のAGFに対して安全性と経済性を向上させることを目的として開発されたものである。

以下に従来のAGFの問題点と改善点を述べる。

《 従来のAGFに対して改善しようとした点 》

(1) 3 m 程の鋼管を継ぎ足すため、重量物の取り扱いが高所での人力作業となる。

(2) トンネル内の狭所でジャンボや高所作業車のブームが移動するため、作業員が挟まれる事故ある。(Photo.4 参照)

この問題解決には、①接続作業を無くする ②接続作業を低所で行う等の方法が考えられるが、『トレビ工法』のように専用の機械が必要になったり、接続毎にブームを移動する必要があり施工が煩雑になりがちである。

《 改善点 》

(1) 新たに開発した伸縮装置付きセントライザーと「さや管による三重管方式(さや管+AGF管+ロッド)」の採用により、継ぎ目のない、1本が 10 m 程の長尺鋼管を一度に施工することを可能にした。

(2) AGF鋼管の継ぎ目部のネジ加工が不要になり、安価となった。

Fig. 14 に従来AGFとAGF-WOOの比較を示す。

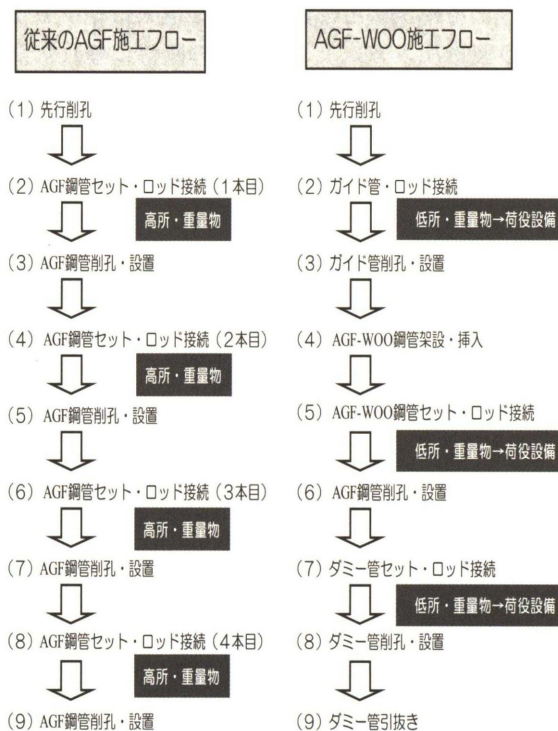
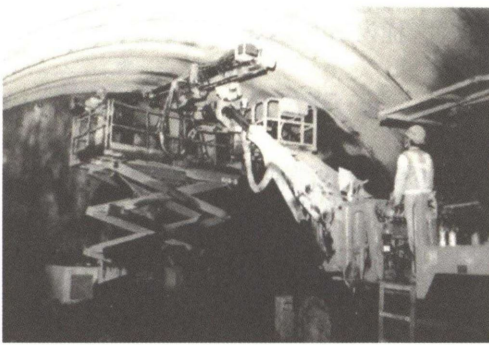


Fig. 14 従来のAGFとAGF-WOOの比較



さや管方式
+
伸縮装置付
セントライザー



従来のAGF

特別な足場が必要

AGF-WOO

ジャンボのブームだけでOK!

高所での接続作業なし

Photo. 4 従来AGFからAGF-WOOへの改善点

(1) 先行削孔



(2) ガイド管^{※1} 削孔・設置
※1 φ125mmVP管または鋼管



(3) AGF-WOO長尺鋼管^{※2} セット
※2 φ114.3mm L=9~12m鋼管



(4) AGF-WOO長尺鋼管挿入



(5) 削岩機・ガイドセル後進



(6) ガイドセル上昇



伸縮セントライザー縮小
(7) AGF鋼管削孔・設置



(8) ダミー管接続・削孔・引抜

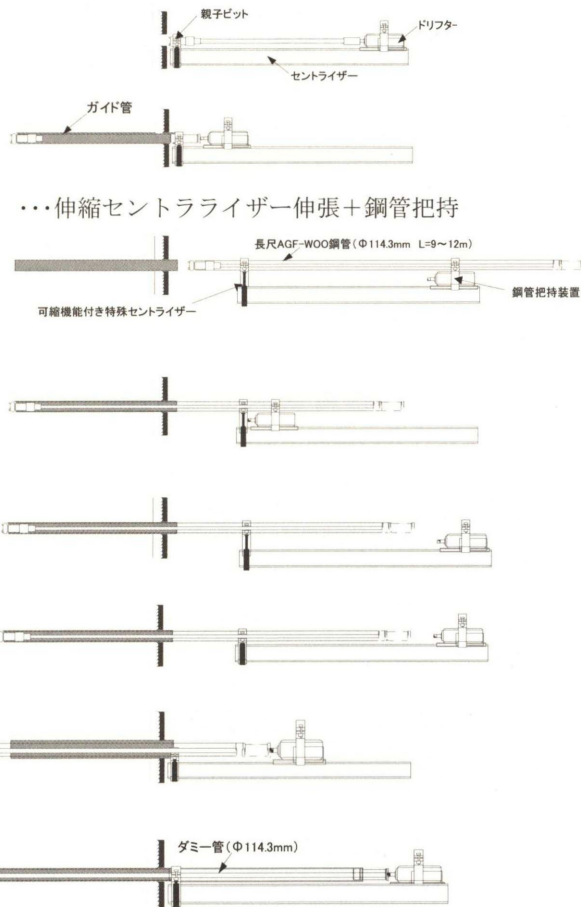


Fig. 15 AGF-WOO施工手順 (模式図)

4. 2. 2 工法の特徴

以下にAGF-WOO工法についての特徴を述べる。

- (1) 品質面：鋼管継目が不要となり、ネジ部の強度低下問題を解決した。また、直進性が向上した。
- (2) コスト面：鋼管のネジ加工が不要になり、コストが低

下した。

- (3) 工期面：従来のAGFと同様の時間での施工が可能。
- (4) 安全面：高所での鋼管接続作業が無くなり、足場が不要になった。重量物の取扱いを機械を使って行うことが可能になった。

4. 2. 3 施工制約条件

本坑工事で覆工，シールドマシンの解体作業等を行っていたため，車輛通行スペースを確保する必要があり，AGFの施工は本坑片側車線のスペースで穿孔機のガイドセルを横向きにして施工を行った。



Photo. 5 施工スペース全景

4. 2. 4 薬液注入

薬液注入の施工において，AGF鋼管の注入孔に逆止弁を装備し，ダブルパッカーによる輻輳式注入を可能とした。AGF鋼管は以下の2点を考慮し，逆止弁付の鋼管を使用した。

①注入による他孔へのリーク防止ができ，隣接孔の削孔～1次注入までは施工可能であり，地山にクラックなどがあつた場合においても，隣接孔の1次注入がなされている方が主工程である2次注入の範囲がある程度定められ，注入効果が上がる。

②削孔→薬液注入による機械の入れ替え回数が削減できる。

注入工詳細図を Fig. 16 に示す。

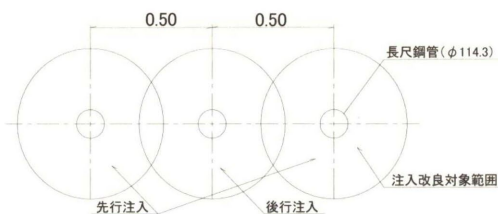


Fig. 16 注入工詳細図

また，薬液注入時には，ウェルポイントを停止して注入を行った。特に湧水量が多かつたNo.2器材坑部では，注入時水圧によりダブルパッカーが押し出されることがあつたが，注入速度と位置を入念に考慮しながら慎重に注入した。

薬液注入後は薬液硬化を確認し，ウェルポイントを再開させたが，AGF鋼管からの湧水はなく，ウェルポイン

トのライザーパイプ，水抜きボーリング管からの湧水に流砂も無く，注入効果は確認された。

4. 3 ウォールソーによるSPコンクリート取壊し

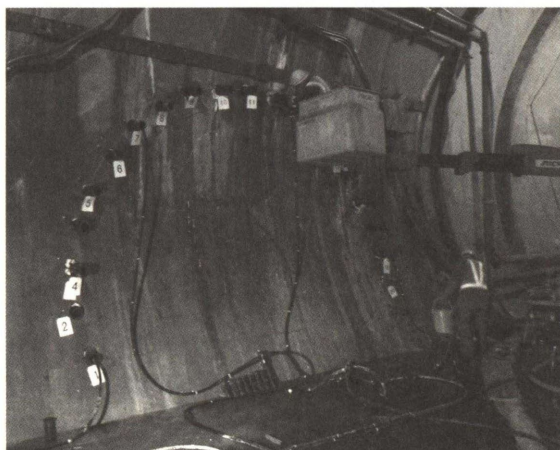


Photo. 6 薬液注入状況

大型油圧ブレイカーによる取壊し方法では，大きな振動・衝撃が発生し，SENS工法の一次覆工コンクリート（SPコンクリート）に悪影響を与えることが危惧された。取壊し方法としては，静的な破碎方法が望まれるが，覆工コンクリート厚さが30cmであり，圧縮強度が60N/mm²～80N/mm²の高強度であることから，静的破碎剤使用による割岩方法は有効に作用しないと考えられた。このため，くさび（穿孔+油圧くさび）使用による割岩方法や「ウォールソー」を用いた取り壊し方法が安全かつ有効であると考えた。そこで，工期，安全面を考慮し，極力人力作業を低減させるために「ウォールソー」を用いた取り壊し方法で施工を行うこととした。方法としてはコンクリートカッター（ウォールソー工法）にて撤去可能な大きさに切断し，ブロック毎に撤去した。なお，口開け部はコアドリリング工法を併用することとした。施工フローを Fig. 17 に施工断面図を Fig. 18 に示す。

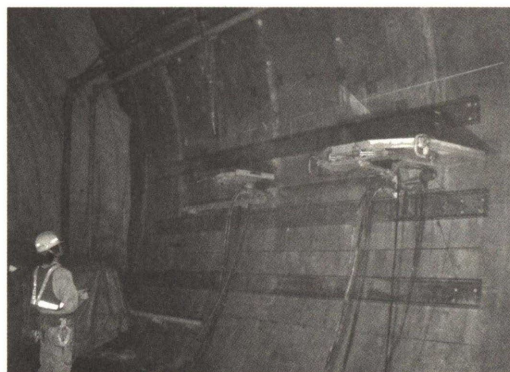


Photo. 7 一次覆工コンクリート切断状況

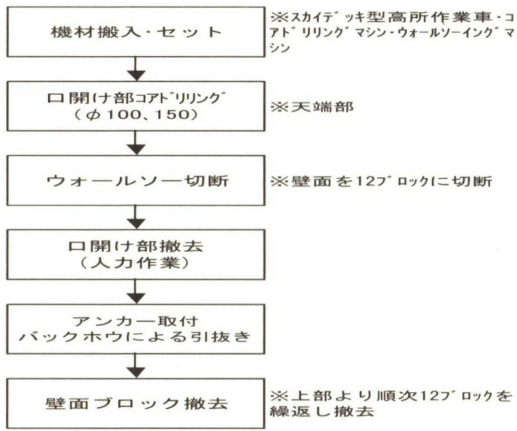


Fig. 17 一次覆工取壊し施工フロー

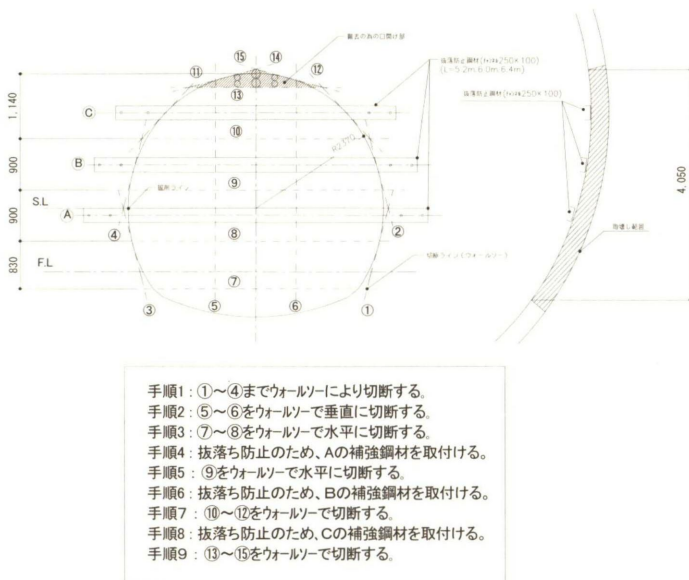


Fig. 18 一次覆工取壊し施工断面図・側面図

一次覆工で支保されている地山の状態が、NATMで観察される先行変位を受けた地山の状態とは異なることが想定されることから、あたかも「山はね」のように地盤パネがはね伸びる症状が現れるのではないかと危惧もあった。結果としては、口開け部のコアド・リングで採取したコアを見ると地山と一次覆工コンクリート背面の接合部は密着していたが、ウォールソーによる切断時にはカッターブレードのせりが頻繁に起こった。このため、器材坑の鋼製支保工1基目を建て込み完了後すぐに吹付くコンクリートを施工し、円滑な応力伝達を可能にすることに努めた。この時の本坑内空変位は2～5mmであったことから、危惧した程の変位ではなかったことが確認された。

4.4 掘削

一次覆工コンクリートの撤去後、コンクリート背面地山の挙動を確認しながら慎重に掘削を行った。

掘削施工フローを Fig. 19 に示す。

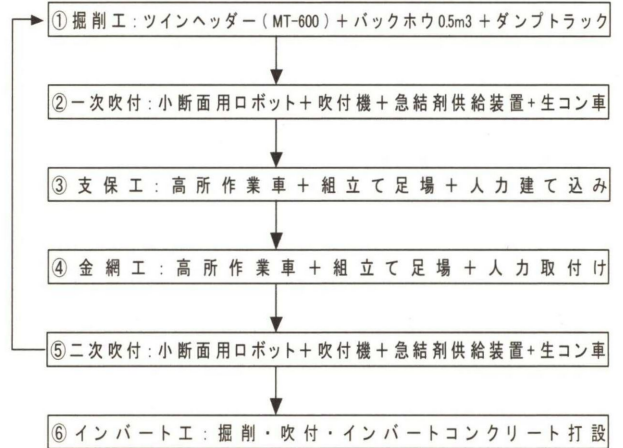


Fig. 19 掘削施工フロー図

掘削機械は、ツインヘッダ (MT600) にて行い、鋼製支保工はH-125×125×6.5×9の2分割を使用した。1本当たりの重量は約130kgであり、エレクターなどの機械による組立てができないことから、片側の支保工を所定の位置に保持するためのクランバーを設置し、高所作業車とビティ杵を使用して組立を行った。

吹付けコンクリートは、器材坑が小断面であること、本坑作業と並行作業であり作業スペースに制限があることから分離型の吹付ロボットにて行った。また発生粉塵対策として、集塵機 (500m³/分) を使用した。

事前にAGF-WOOによって器材坑周辺の先行地山を補強・改良したことで、湧水も殆どなく、地山も安定し、工事は安全に施工できた。



Photo. 9 支保工建て込み状況

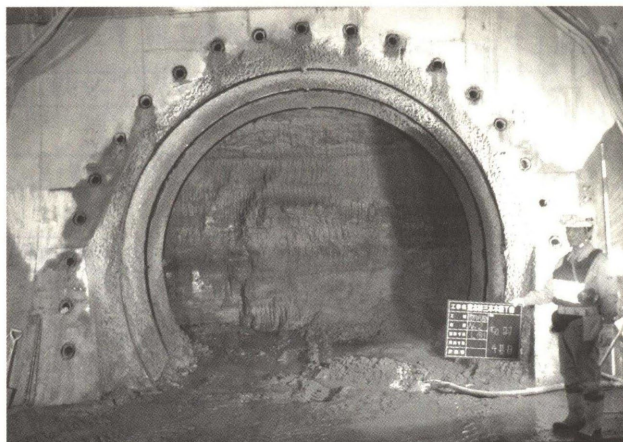


Photo. 10 掘削完了状況

5. おわりに

三本木原トンネルの器材坑の覆工迄の施工は、平成 19 年 6 月に完了した。路盤鉄筋コンクリート工事を除いたトンネル内工事は 8 月 15 日に竣工した。

施工を通じて、もっとも重点指向したことは切羽安定のための先行支保の考え方であった。

このため、本坑では密閉型シールドである SENS による切羽安定を、器材坑の NATM では AGF - WOO を脚部まで施工することにより先行支保を可能にした。

今回の施工を通じて当現場の様な地質条件下において、本坑を SENS で施工し、器材坑を NATM で施工した場合の考察を以下に述べる。

- ① 安全面；一次覆工の変位観測の方法としては、応力の測定が望ましいと考えられる。
- ② 工期・コスト面；器材坑の施工を本坑掘削完了後にした場合、本坑の二次覆工は、器材坑掘削影響範

囲を考慮して 3 スパン程度後施工となる。このため、器材坑設置箇所専用の本坑セントルが必要である。

技術開発の面では、地下水の復元が必要な条件下での器材坑施工においては、完全な遮水効果が得られるような補助的手段が必要と考える。

今後、三本木原トンネルの実績を踏まえ、更なる技術開発・研究をしていきたいと考える。

謝辞

三本木原トンネルにおける器材坑の施工にあたっては、発注者である鉄道運輸機構の皆様にご指導を頂いた。

また、本社土木事業本部トンネル技術部、シールド技術部、ならびに東北支店の皆様には施工に関する様々な相談に乗っていただいた。

最後に、SENS における器材坑施工は安全面、工期面において未知な部分が多い中での施工は、JV 職員と、笹島建設を始めとする協力会社の皆様の協力があったのことに深く感謝いたします。

お世話になった皆様ここに深く敬意を表します。

参考文献

- 1) 佐伯・後藤・井浦：未固結地山における小土被りトンネル群の施工—東北新幹線 六戸・三本木原・牛鍵トンネル—、トンネルと地下、第 37 巻 4 号、PP7～15、2006 年 4 月
- 2) 佐々木・佐原・井浦・川嶋：場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド—東北新幹線 三本木原トンネル—、トンネルと地下、第 36 巻 4 号、PP7～15、2005 年 4 月

Application of AGF - WOO method to excavate the adit of main line

Shigeharu IWANAGA, Akira KIMURA, Tomishige HIRAIISHI, Ryoukichi MARUI, Kazushi KAWABATA and Masayosi OHATA

Abstract

Sambongihara Tunnel goes through under diluvial upland with overburden between 2m to 45m, having 4,280m total long with a double track section on the Shinkansen Line. In this tunnel, one of 1,265m length was excavated by "NATM" and the other of 3,015m length was excavated by new developed tunneling system "SENS". In the section of NATM, the adit in every 500m was excavated at near the face using deep - well method. But the adit in the section of SENS must be excavated after shoving completely.

This is the report of the examination and the effect by AGF - WOO method (auxiliary method of tunnel) adopted to ensure face stability and tunnel safety in adit construction.

Keywords: NATM, SENS, AGF-WOO method, adit construction