

# 直径12.84mの大断面TBMの設計と施工

—東海北陸自動車道飛驒トンネル—

川北 眞嗣・青山 昌二

飛驒トンネルは当初、大断面TBMを用いた施工を計画していたが、予想外の不良地山帯、高圧大量湧水帯の出現により、TBMの施工を延期していた。しかし、平成15年には不良地山帯を脱し堅岩帯となったため、平成16年1月より大断面TBMの施工を開始した。本報文では、これまでの掘削状況と、そこで浮彫りとなった問題点やその対処方法について述べるとともに、このような状況のなかで考えられた新工法について、合わせて紹介するものである。

キーワード：大断面TBM、改良オープン型、高浸透型注入材、飛驒トンネル

## 1. はじめに

飛驒トンネルは、東海北陸自動車道最後の未開通区間である飛驒清見IC～白川郷IC間に位置する全長10.7kmの高速道路トンネルである（図-1）。

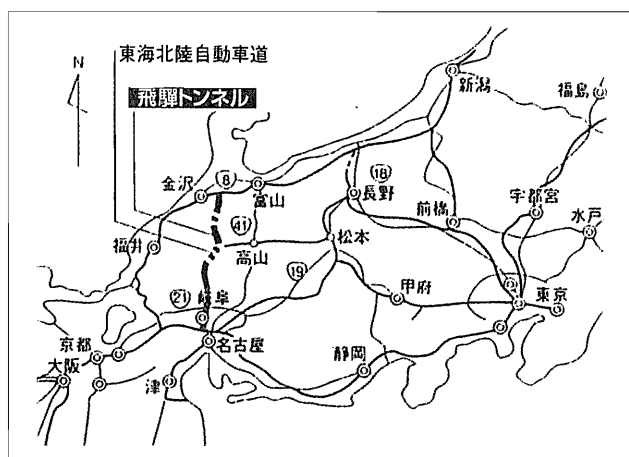


図-1 飛驒トンネル位置図

トンネルの特徴としては、

- 縦断勾配が白川側（富山側）から河合側（名古屋側）に向けて2%の上り勾配となっていること（図-2）、
  - 最大土被りが約1,000mと非常に大きいこと、
  - 両坑口ともに10年再現最大積雪深が3mを超え、特に河合側の坑口部はアクセス道路が冬期通行止めとなるような、気象・地形条件が非常にきびしい場所に位置していること、
- などが挙げられる。

また、当初の地質調査結果からは、中硬岩が大半を占めると想定された。

以上のような条件から、トンネル掘削は白川側からの急速施工を基本とし、道路用に供される本坑、緊急時および維持管理用に使用される避難坑（当面は先進坑と呼ぶ）ともにTBMによる施工で計画された。

平成17年11月1日現在の進捗は、先進坑97%、本坑68%である。

## 2. 地質概要

トンネル内に分布する地質は、白川側より概ね白川花崗岩、濃飛流紋岩類、花崗斑岩、飛驒片麻岩類で構成される（図-2）。

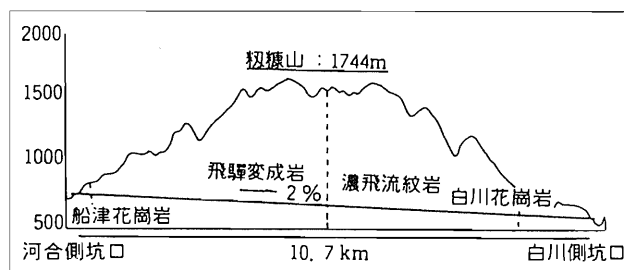
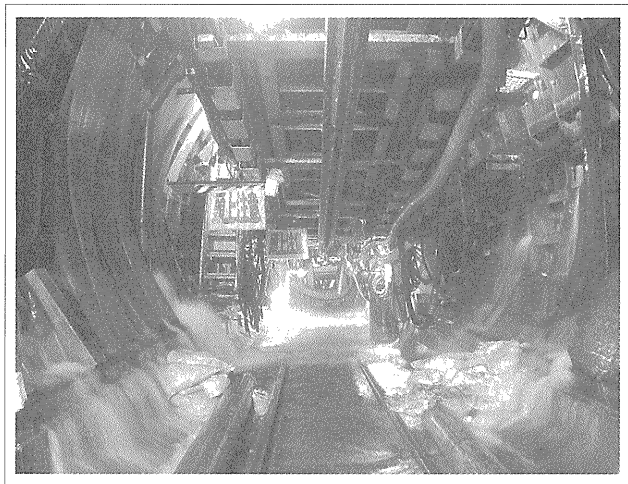


図-2 飛驒トンネル縦断面図

現在掘削中の濃飛流紋岩類は、白亜紀末（約7,000万年前頃）に形成され、岩相は溶結凝灰岩類、火山角礫岩、火山礫凝灰岩、結晶質凝灰岩、細粒凝灰岩など変化に富むが、そのすべてが硬質である。

濃飛流紋岩類中には、しばしば2～3セットの板状節理が交差して発達しており、それらによりブロック

状に分離しやすい。また、亀裂面は平滑で連続性がよく、比較的狭在物が少ない。湧水は非常に多い部分があり、先進坑（本坑に先行するパイロットトンネルで、将来の避難坑となる）TBM テール部で最大 10 t/min を記録している（写真—1）。

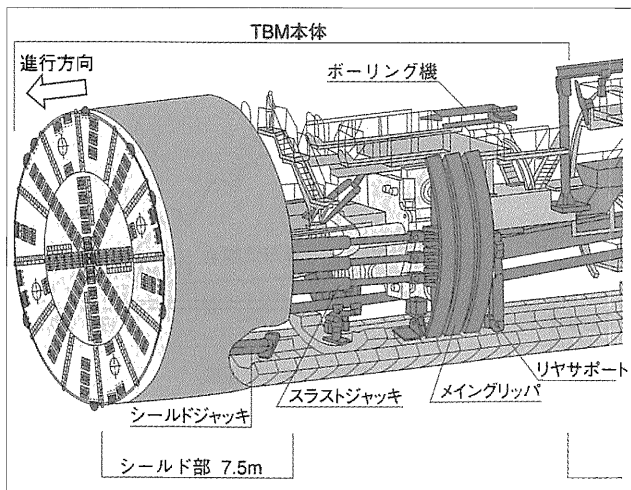


写真—1 先進坑 TBM テール部の湧水状況

### 3. TBM 仕様について

#### (1) TBM の形式

TBM の形式を選定するにあたって、断面が大きいため機体長が長くなり、地質変化への対応が遅れることを勘案し、オープン型とシールド型のよいところを具備した、改良オープン型 TBM（図—3）を採用した。



図—3 改良オープン型 TBM

本坑で採用した改良オープン型 TBM は、掘削径 12.84 m と世界最大級のものであり、従来のオープン

型と単胴シールド型の両方の機能をそれぞれ併せ持ち、良好地山での急速施工性と不良地山での対応性を向上させることを念頭に開発されたものである。

その性能は、B、C 級地山ではメイングリッパにより坑壁に反力を取り、メインビームを介してカッタヘッドに推力を与えるオープン型式の掘進を行い、吹付けコンクリート、ロックボルトなどの NATM 支保が用いられる。

D 級地山では、現地製作したトンネルライナーをシールド内全周に建込み、これに反力をとってシールドジャッキにより推力を与える単胴シールド型式での掘進が行える。また、不良地山対策として先進ボーリングや長尺鋼管フォアパイリング、鏡ボルトなどの補助工法を、TBM 内から施工できる設備を常備している。

#### (2) 基本コンセプト

TBM 掘削は、基本的には切羽が自立することが前提であり、良好な地山にメイングリッパを張りだすことにより反力を確保し、高速掘進を可能にする。しかし、切羽が自立しない場合や、坑壁での反力が十分確保できない不良地山区間での掘削では、掘進速度の低下を、地山改良と TBM 装備能力によって、最小限にすることが重要になる。

切羽の自立が困難な地山状況においては、注入等の補助工法を行い、切羽を自立させて掘削することを基本とするが、補助工法の効果が不十分な場合や、突発的に不良地山に遭遇する可能性も否定できない。よってそのような事態に対処できる能力をマシンの基本仕様に含まれることが、不良地山遭遇時の工程短縮、コスト縮減につながるものと考えられる。

#### (3) 基本仕様

TBM の主要諸元は表—1 のとおりである。

表—1 TBM 主要諸元

項目	参考諸元
カッタ径 × 個数	19 インチ × 90 個
スラスト推力	最大 3,400 tf
カッタヘッド回転数	最大 4 rpm
カッタヘッドトルク	低速域：3,246 tf-m 高速域：1,034 tf-m
カッタヘッド駆動動力	4,250 kW
補助推進用推力	5,650 tf
メイングリッパ推力	4,500 tf × 2

##### (a) カッタ径

飛驒トンネルでは、硬岩地山の岩盤が多く占め、かつ石英含有率が高く、カッタの摩耗が激しいことが予

想された。よって、19インチカッタを採用している。

#### (4) 細部仕様

飛驒トンネルで使用するTBMは、吹付けコンクリート・ロックボルトの支保と、トンネルライナによる支保の両方が施工可能でなければならない。支保作業は、TBMテールおよびTBMテール直後に行う必要があることから、それらの位置より安全、確実かつ迅速に行えるような機構とした。

##### (a) 吹付けコンクリート

前方(TBMテール直後)で行う吹付け範囲は、上部約150°である。それ以外の範囲はグリッパ後方の作業台車にて実施することで、インバートライナまでの290°をカバーすることとした。

##### (b) ロックボルト

TBMの掘進に影響を与えずに作業できるように、TBMテール直後では、約120°の範囲を施工する。その他はTBMと独立して動くことのできる、後方の作業台車より打設する機構とした。

##### (c) アーチライナ

TBMテール直後までホイストにて運搬後、エレクタにて組立てを行う。上部の組立ては可動作業足場にて、横部の組立てはスラストシリングからはね出し足場にて行う。

##### (d) カッタ

内取付け方式で、点検、交換が容易にできる機構とした。

##### (e) 補助工法

フォアパイリングは、メイングリッパ上部の作業デッキに搭載された先進ボーリング機にて行う。注入式長尺先受け工は、貫通孔を利用し上部120°の範囲を打設できる機構とした(図-4)。差し角は約10°、削孔

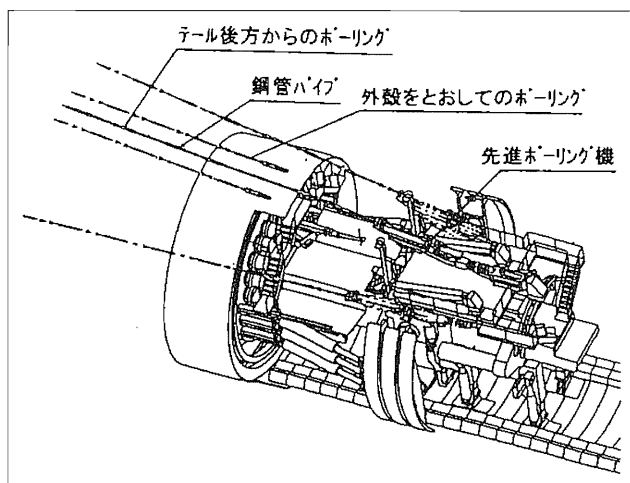


図-4 フォアパイリング施工のイメージ

長は15mで計画した。

切羽前面へのボーリングは、上部はグリッパ上部に搭載した先進ボーリング機を使い、下部は外部からクローラタイプのボーリング機を持込んで施工する計画とした。

## 4. 掘削状況

本坑の地質は、先行する先進坑および作業坑(本坑掘削を助けるために掘削された本坑左側のトンネル)の切羽観察、及び施工データより、白川側坑口から約3,000mの地点から選択した。比較的自立性の良い安定した濃飛流紋岩となり、かつ両坑による水抜き効果も認められたことから、同地点より本坑TBMの掘進を開始することにした。

2004年1月より、TBMは掘進を開始した。掘削径12.84mのTBMによる山岳トンネルの掘削は、国内外においても初めてのことである。そのため最初の200m区間は試験施工と位置付け、TBMに実負荷をかけての機能確認と調整、各補助工法の試験などを行いながらの掘進とした。

同区間の地質は先進坑のデータから、亀裂の発達した濃飛流紋岩で、岩体自体の強度は十分大きいものの、亀裂により切羽の小崩落が想定されていた。そのため、掘削は支保に全周アーチライナ(写真-2)を用いたシールド掘進モードでスタートした。



写真-2 アーチライナ施工状況

試験施工においては、掘削開始直後より岩盤亀裂の影響が顕著に現れ、切羽では複数の卓越した節理面が組合わさり、カッタヘッド前面の地山が大きなブロック状に抜落ちる現象(以下、先掘れと呼ぶ)が多発した。



写真-3 先掘れ状況 (下半部)

この先掘れ現象は特に下半部（写真-3）に多く発生し、できる空洞はあたかも古墳の石室のような形状となり、奥行きは3 m から最大7 m にも達し、上半部がオーバーハング状態となることも多かった（写真-4）。

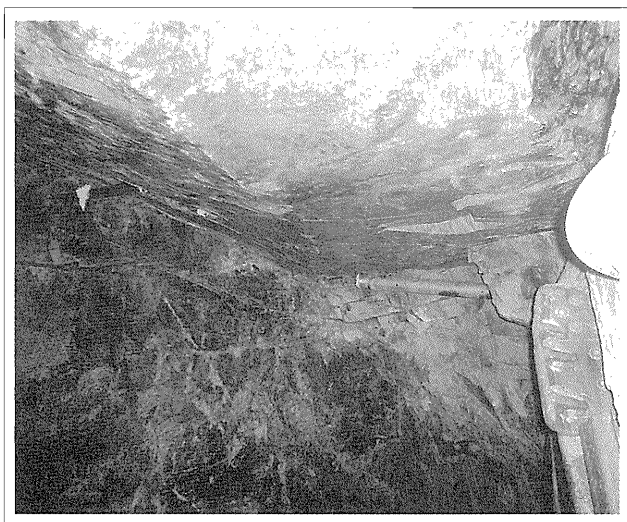


写真-4 先掘れ状況 (上半部)

この先掘れ現象のため、カッターヘッド面盤のディスクカッターの圧砕による掘削はほとんどなく、外周ドーム部のカッターのみによる掘削となり、崩落岩盤は二次破碎されてカッターヘッドチャンバに取込まれるような状況となった。そのため、大きなずりによるベルトコンベヤの損傷やホッパ部の閉塞トラブルが頻発した。

また、切羽と面盤の間で崩落した岩盤が二次破碎（いわゆる芋洗い状態）されるため、面盤の外周付近やカッター、スクレーパ等の摩耗が顕著であった。

こうした現象の発生は、当現場の濃飛流紋岩の特性

とTBM掘削径の大きさから考えて、防止が困難と思われた。そこで、そのような場所では先掘れがTBM断面外に広がらないように、先進ボーリング等により確認された不良地山部分には、長尺鋼管フォアパイリングにより、補強を行いながら掘進を実施した。

試験施工は終了し、掘削～支保の作業がほぼ想定どおりに行えることを確認した。最近では、先掘れは発生するものの断面外に広がることはほとんどなく、補助工法を必要としない区間が大部分となり、平成17年3月には月進250 mを超えた。また、平成17年8月にはアーチライナを外した吹付けコンクリートによる支保を試験的に実施した。

## 5. 施工上の問題点と対処方法

TBM掘削においては、面盤前面の崩落（先掘れ）や断面外へ至る崩落が起き、以下のような問題が発生しており、それぞれに対策を講じている。

### (a) ベルトコンベヤ、ホッパ部の破損

大きなずりの取込みによる、ベルトコンベヤの損傷や、ホッパ部の閉塞トラブルについては、ホッパ部を改良することにより対応した。

### (b) 面盤等の摩耗

面盤の外周付近の摩耗については、耐摩耗板を貼付けて凌いでいる。

カッターやスクレーパの摩耗については、取替えるしか方法がないため、極力掘削に影響しないタイミングで交換を行っている。

### (c) 断面外崩落

不良地山での断面外崩落を抑制するには、亀裂面に

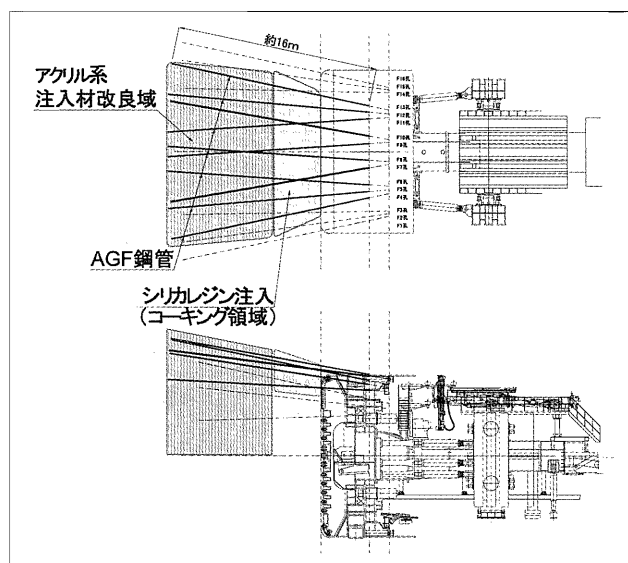


図-5 アクリル系注入材の施工イメージ

粘着力を与えることが有効と考えられたため、地山改良注入を試みた。

当初、超微粒子セメントやシリカレジンを用いて掘削前の非開口亀裂に対する注入を行ったが、ほとんど浸透しない結果となった。そこで注入材混合粘度が約10 mPa・s (水:1 mPa・s) となるアクリル酸塩系の注入材を開発し、適用した(図-5)。

これを用いた注入では、上記と同条件の岩盤亀裂に対しても高い浸透性が確認され、掘削時においても注入による地山崩落の抑制効果が確認された。アクリル系注入材の材料特性を表-2に示す。

表-2 アクリル系注入材の材料特性

混合量比 (A液:B液:C液)	1:1:1
比重	1.17
ゲル化タイム	約30~300s (調節可能)
危険物関連法規制	無し

### (1) 材料の特徴

アクリル系注入材は、以下のような特性をもつ。

#### (a) 強度特性

シリカレジン、懸濁型注入材と比較した主な強度特性は表-3のとおりである。

表-3 注入材の強度特性比較

材 料	シリカレジン	懸 濁 型	アクリル系
単体強度 (1時間)	2 N/mm <sup>2</sup>	—	0.8 N/mm <sup>2</sup>
単体強度 (1日)	2 N/mm <sup>2</sup>	2 N/mm <sup>2</sup>	0.8 N/mm <sup>2</sup>
7号珪砂注入体	浸透せず	浸透せず	2.8 N/mm <sup>2</sup>

#### (b) 浸透性

粘性の低い液体注入材であることから、細かい亀裂にも浸透しやすい。一般のシリカレジンと粘性の比較を行った結果を表-4に示す。

表-4 注入材の粘性比較

材 料	水	シリカレジン	アクリル系
粘 性	1 mPa・s	80~120 mPa・s	約10 mPa・s

#### (c) 鉄との付着

化学構造的に、鉄と結合する分子基を持っていないため、鉄との結合性に乏しい材料である。したがって、ロックボルトの定着材等、鋼材を地山に固定するための用途としては不利な材料である。しかしTBMの機

体直近でリークしたり、カッターヘッド内にリークした場合でも、注入材によりTBM本体を拘束したり、カッターリングやベアリング部分に重篤な損傷を与える可能性が低く、TBM機体付近の地山改良のための用途としては好都合な特性と言える。

#### (d) 安全性

人体に有害な物質では無く、また、危険物としての管理を必要とするものでも無いため、取扱い、材料の管理が容易である。

#### (e) 施工性

レジン系注入とほとんど同じ要領で施工が可能である。また、現場で配合が変えられるため、ゲル化時間の調整が容易に行える。

## 6. おわりに

飛驒トンネルの大断面TBMによる掘削は2,000mを超えた。本報文では、大断面TBMの施工上の課題を中心に記述してきた。施工経過より、先掘れ現象の発生するような切羽の安定性が十分でない状況でも、適切な対策を講じることにより、大断面TBMの掘進が可能であることが確認されている。

先行する先進坑TBMの施工実績より、地質は良化する傾向にあることから、今後は、TBM本来の急速施工を実現するためのマシン改良も含めた施工技術の確立が必要と考える。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 寺田光太郎, 川北真嗣, 島屋 進, 領家邦泰: 12.84 m TBMによる高速道路長大トンネル施工に関する考察, 平成16年度建設施工と建設機械シンポジウム, 2004.

#### 【筆者紹介】

川北 真嗣 (かわきた まさつぐ)  
中日本高速道路株式会社  
本社人事部人事チーム監査役付  
サブリーダー



青山 昌二 (あおやま しょうじ)  
中日本高速道路株式会社  
中部地区清見工事事務所  
飛驒工事区

