

Tunnel construction work under high earth pressure and springwater flowing condition (Construction details of a pioneer drift for Hida Tunnel, Tokai-Hokuriku Expressway)

Toshiyuki Matsubara^{1,A)}, Masanobu Miyahara^{B)}

^{A)} Tobishima corporation

2-banchi, Sanbanyo, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8332

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0081

Abstract (英語)

Tunnels such as those planned for the International Linear Collider (ILC) Project are long and narrow structures under the ground. In the construction of these tunnels, various circumstances sometimes restrict the initial surveys from obtaining detailed geological information. In Japan, complicated geological structure composed of discontinuous plate tectonics can be found. Therefore, in order to ensure effective construction planning and execution, it is important that precise geological information be acquired through initial survey and then verified with investigation results during the construction. Hida Tunnel of Tokai Hokuriku Expressway, which is 10.7 km long and took more than 11 years to finish, is the second longest highway tunnel in Japan. The tunnel was constructed using the TBM method in the beginning. Later the method was replaced with NATM because of hostile construction conditions, which include existences of springwater and massive earth pressure due to more than 1000 m of earth loading on top, as well as weak zones consisted of active faults. This paper reports on the geological structure and construction details of a pioneer drift for Hida Tunnel, which was completed by overcoming complicated and poor geological conditions. At the same time, we will mention the ideal method of the geological survey in future ILC plan.

大土被り、大量湧水下のトンネル施工 (飛騨トンネル先進坑における地盤調査と施工経緯)

1. はじめに

飛騨トンネルは東名高速道路一宮JCTと北陸自動車道小矢部砺波JCTを結ぶ全長185kmの東海北陸自動車道のうち、岐阜県北部山岳地帯の飛騨清見IC～白川郷IC間に位置する全長10.7kmの長大トンネルである。飛騨トンネル先進坑は本坑に先立ち1996年10月に着工、その後1998年2月にTBM（掘削径4.5m）の掘削を開始したが、予期せぬ不良地山や大量湧水帯に遭遇、水抜き坑や注入工等の補助工法の採用や、掘削工法の変更を余儀なくされる等、施工は難渋を極めた。本稿では飛騨トンネル先進坑の施工を概説するとともに、長大トンネル・高土被り下での施工となった飛騨トンネルでの地質調査経緯を示す。合わせて、大規模地下構造物となるILCの地質調査のありかたについても言及する。

2. 飛騨トンネル計画概要

飛騨トンネルは、自動車専用道となる本坑と、緊急時のエスケープルートとなる避難坑とからなる。

本トンネルの特徴を以下に示す。

- ①延長10.7kmの長大トンネルである。
- ②最大土被り1,000m超と非常に大きい。
- ③縦断勾配が白川（富山）方から河合（名古屋）方に向け2%の上り勾配となっている。
- ④豪雪地帯で知られ冬場の積雪深が3mを超える。
- ⑤白川方坑口に近接する白川郷合掌集落は1995年ユネスコの世界文化遺産に登録されており、工事施工に際して周辺環境への配慮が必須となる。これらを考慮し当初計画では先進坑、本坑とも高速掘進の期待できるTBM（トンネル・ボーリング・マシン）による白川方からの片押しでの施工を計画した。



図1：白川郷合掌集落

¹ E-mail: toshiyuki_matsubara@tobishima.co.jp

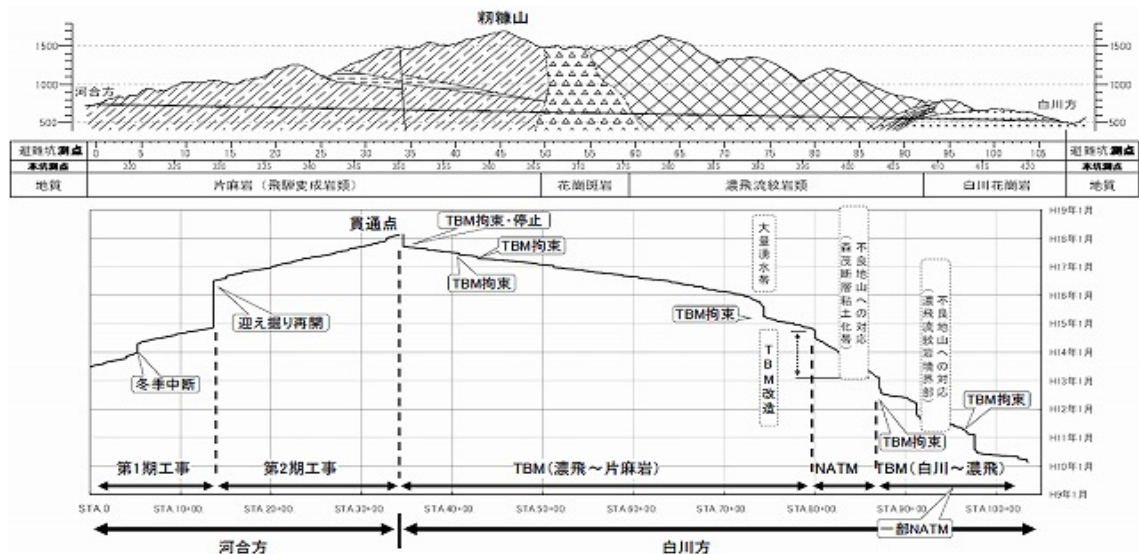


図2：地質縦断図および実施工程

3. 先進坑施工経緯

3.1 施工経緯概要

飛驒トンネル先進坑は、平成9年7月から作業横坑、発進作業坑に着手、坑外でTBMを組立後平成10年2月にTBMの掘削を開始した。

当初白川花崗岩でのTBM掘削は順調に開始したものの、濃飛流紋岩との境界付近から御母衣断層の派生断層に起因する変質帯とそれにつらなる森茂断層帯による不良地山が約1.7km続き、先進坑はこの区間の突破に約4年の月日を費やした。

その後濃飛流紋岩堅岩部では一転して亀裂性岩盤からなる大量湧水帯が続き、水抜きボーリングを併用しながらの施工を行った。

平成13年7月、工事工程の回復を目的として河合方からの迎え掘りを開始し貫通まで継続した。

白川方の地山状況は、濃飛流紋岩を過ぎ花崗斑岩から飛驒片麻岩にかけて、比較的安定した地山が連続したが、800mを超える大土盛りが影響し、高压地下水による突発湧水や弱層部での地山の押出しにより、硬岩部においても2度のTBM拘束が発生している。また貫通を目前にした平成17年9月には、幅2mの粘土層の押出しによりTBMが拘束・停止し、最終的にこの地点でTBM掘削を断念し、迎え掘りによる貫通を行うこととなった(図2)。

以下に区間ごとの施工経緯を示す。

3.2 白川花崗岩～濃飛流紋岩境界部でのTBM掘削

TBM発進から500m区間の白川花崗岩帯は、おおむね良好な地山であり、最大日掘進長35m、最大月進383mを記録するなど、順調な掘進を行った。

その後発進から560m地点の白川側TD910mで、熱水変質による変質帯に遭遇し切羽が連続して崩壊した。このため変質帯区間130mをNATMにより施工後、再度TBMによる施工を開始した。

3.3 NATMによる断層帯の掘削

TD2,000m付近において、粘性土質地山の押出しによりTBMが連続して拘束された。坑内からのボーリング調査、詳細地表踏査の結果、前方に濃飛流紋岩の粘土帯・亀裂密集帯が連続していることが判明したことから、掘削工法をTBMから一旦NATMに変更することとした。NATMにより施工を行ったTD2,000m～2,700m間は、後の考察で森茂断層主断層であったと推定されている。

3.4 大量湧水帯

森茂断層通過後は亀裂の発達した濃飛流紋岩が出現、TBMは先進坑全体で最大70t/minを超える大量湧水帯に進入した。TD3,300m地点では切羽湧水量15t/minの突発湧水に遭遇し切羽が大きく崩壊、水抜き坑、水抜きボーリング、薬液注入等の対策工を実施し脱出までに4ヶ月を要した。その後の湧水帯の掘削では50～700m超の水抜きボーリングを駆使して事前に水圧・水位を低下させTBM掘進を継続した。

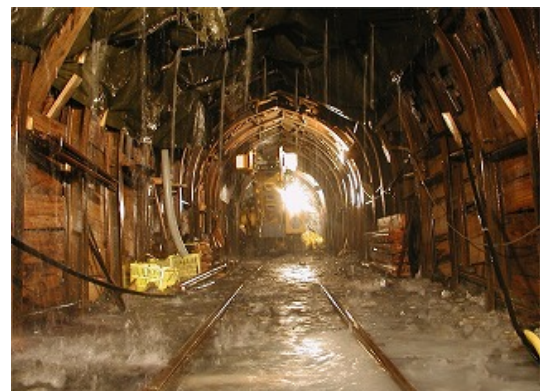


図3：水抜坑湧水状況

3.5 貫通直前での拘束とTBM断念

平成17年9月、TD7,250m付近において厚さ2m程度

の弱層部（粘土層）の押出しによりTBMが拘束された。拘束開放のために切上げの実施を試みたが、高圧の粘土層に起因する切羽の押出しが発生、その後流動化した粘土がTBM中胴の点検窓を破壊して機内に流入した、TBM後方左側より迂回坑の掘削を開始したが、TBMを拘束した粘土層に達した時点で再び切羽が崩壊し、これより迂回坑は完全に埋没した。この時点で白川方からのTBMによる掘進は断念し、河合方からの貫通を目指すこととした。

4. 地質調査経緯と実際に遭遇した地質

飛驒トンネルでは工事進捗に応じて各種地質調査を実施してより詳細な地質構造の評価を行った。こうした一連の調査は以下のような段階に区分できる。

① 基本計画段階調査（昭和61年～平成6年）

文献調査や1/25,000の地形図を用いて地表踏査を行う地質概要調査、トンネル坑口付近の地質調査で、路線付近の地質構成とともに、断層破碎帯の位置や湧水帯の把握を行い、施工上予想される問題点を抽出しようとするもので、以降の調査方針の指標となる情報を収集した。

② 設計段階調査（平成7年～8年）

詳細地表踏査、トンネルルート沿いのボーリング調査、弾性波探査・電磁波探査等の物理探査を実施し地質構造、地山物性値を確認して、設計・施工に必要な地質情報を把握した。この段階では1/5,000～1/1,000の地形図により地表踏査を行い、基本計画段階で懸案となった地質構成上の問題点等を明らかにするものである。路線全長にわたる詳細の地質構造を把握し工法選定、地山区分、詳細工事費の算定のための資料を収集した。

③ 施工段階調査（平成8年～平成18年）

トンネル掘削により実際の地中の地山状況を確認、事前調査で予想した地質情報を検証し、未掘削区間で予想される不良地山の位置・性状を正確に把握するため、坑内からの水抜きボーリング、大深度鉛直ボーリング、詳細地表踏査等を実施した。これにより、事前調査段階で想定した地質構造の見直しを図り、補助工法の選定や掘削工法の再検討を行った。

飛驒トンネルの地質調査は、土被りが大きく調査手法に制約があったこと、構成岩腫が比較的多くさらに断層や変質の影響を受け地質構造が複雑であること、設計段階での地質調査に時間的な制約があり補足調査を行う余裕がなかったこと等に起因して、

結果的に当初想定と大きな差異が生じる結果となった。調査段階から施工に至るまでの飛驒トンネルの経緯を見た場合、大深度下での調査手法のありかた、事前調査段階における地質リスクの評価や事前調査と施工中調査の役割分担等、今後の長大トンネル、大規模地下構造物の調査計画にあたっても参考にすべきことが多いものとする。

5. ILC地質調査への提言

ILCの主要構造物となる加速器トンネル・サービストンネルは延長30kmを超える長大トンネルであり、そのほぼ中央に配置する衝突実験ホールも100,000m³超の大空洞となる。また空洞上部に配置する周長6km超のダンピングトンネルや地上設備、施工基地とのアクセストンネル等のトンネル群を含めると、全体ではかつて例のない大規模地下構造物となる。このため道路、鉄道等に代表される路線構造物以上に、地質性状を把握できないことに起因する地質リスクが顕在化する可能性がある。

日本のインフラ整備における地質リスクの考え方は、これまで企業者（発注者）側がほぼすべてを分担しており、リスクが顕在化した場合には工事中の条件変更として企業者の追加負担により施工者が対策工を実施することが通例であった。この手法は工事中の不確定要素に対する責任分担を明確にし契約を簡素化するという利点があるものの事業費や工期が工事終了まで確定できないという問題もはらむ。また地質リスクが企業者側に片務的に付加されているため、双方に地質リスクを最小化するというインセンティブが働かず、効率的な施工を行うために地質調査の精度を高めていくという本来のありかたが薄れ、結果的に事業費全体のコストアップにつながる懸念もぬぐえない。

ILCの日本への誘致が決定した場合、詳細な地盤調査や設計、および工事の契約等はすべて国際的な事業としての制約を受けるものと考えられる。その際には事業費の変動を最小限とするとともに、プロジェクトで設定された工期の厳守が強く求められるものと推察される。そのためには効率的で最適な地質調査を行い地質リスクを最小限とすることが重要課題となることから、たとえば掘削長2,000mを超える超長尺ボーリング等、短時間で多くの情報が得られる調査手法の開発や、事前調査と施工中調査との合理的な役割分担の検討等、従来の地質調査のやり方を超越した革新的な手法が求められる。

参考文献

- [1] 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・松原利之，“不良地山・高圧大量湧水との闘い（不良地山編）東海北陸自動車道飛驒トンネル”，トンネルと地下，Vo 1 35，
- [2] 佐野信夫・川北眞嗣・守山守，“計画と地質調査”，トンネルと地下，Vo 1 39，



図4：貫通