

飛驒トンネルにおける高圧大量湧水帯の施工

The prior measure and construction situation,
Which were carried out by TBM in a lot of groundwater.

山田 隆昭¹⁾・川北 真嗣²⁾・勘定 茂³⁾・築地 功⁴⁾

Takaaki YAMADA, Masatsugu KAWAKITA, Shigeru KANJOU, Isao TSUKIJI

In HIDA pilot tunnel, the hydraulic head pressure which is equal to thickness of earth covering is confirmed by boring, as the rock pressure is increasing due to high earth covering which is 1000m. By using a double steel pipe, geology ahead of the tunnel face could be investigated more. Large-scale crash was avoidable with the AGF method of construction. The prior measure and construction situation, which were carried out by TBM in a lot of groundwater, are reported

Key Word : Tunnel Boring Machine, All Ground Fastening , groundwater

1.はじめに

飛驒トンネルは東海北陸自動車道の飛驒清見 JCT と白川郷 IC 間に位置し、岐阜県北部にあって全長約 10.7km の超長大トンネルであり、早期開通を目的として急速施工が可能な TBM による掘削方法を本坑、先進坑（避難坑）に採用した。このうち先進坑は平成 10 年 3 月に TBM 掘進（φ4.5m）を開始したが、破碎帯や変質帯に連続的に遭遇し、数回の TBM 拘束、切り抜けによる脱出を繰り返した。そこで、TBM の一部の機構を不良地山対応に改造し、平成 14 年 9 月に STA.80+00 付近（T.D2750m）で再発進した。再発進以

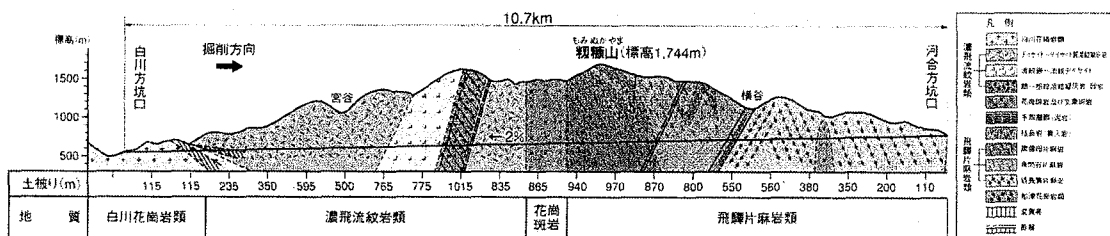


図-1 全体地質縦断面図

降の地質は主として珪化変質した濃飛流紋岩であり、岩塊は堅硬であるが亀裂が発達しており、部分的に薄い粘土層を挟在している。現状の土被りは 700m 程度であるが、今後、最大土被りは 1,000m に達する。

土被りが大きい地上からの調査によりトンネル前方の対象地質を明確に把握することは困難でありかつ、多量の湧水を確認していたことから、STA.80+00 における TBM 再発進に先立ち矢板工法による小断面の水抜き坑を 260m 先行させ、シールドリパスによる長尺ボーリングを 300m 先行させた。この水抜き坑

- 1) 日本道路公団本社 技術部 調査役
- 2) 日本道路公団清見工事事務所 飛驒工事長
- 3) 日本道路公団清見工事事務所 飛驒工事区
- 4) 飛島建設・鉄建建設共同企業体 飛驒トンネル避難坑工事作業所

と長尺ボーリングのコア状況により TBM 再発進以降の地質、湧水状況を概ね把握することができた。その結果、長尺ボーリング延長 270m 付近 (STA.74+70 付近) には粘土層を挟在した不良地山が断続的に存在しており、これらを遮水層とした非常に高圧な湧水帯の存在が確認された。

今回はこうした不良地山帯における高圧大量湧水帯での TBM 掘進で実施した事前対策および施工状況、さらにその後再び出現した高圧大量湧水帯の施工状況について報告する。

2. 高圧大量湧水帯における不良地山

シールドリバースによる長尺ボーリングでは STA.75+0 付近のコア状況は 20~40mm 程度に破碎されており、10cm 程度の粘土層も確認されていた。シールドリバース工法の性質上、薄く挟在している粘土層はコアとして採取されていない可能性が高く、この付近には粘土層を含んだ不良地山帯がかなり厚く存在することが想定された。また、これらの粘土層を遮水層として 5.5MPa を超える高圧大量湧水帯の存在が確認された。ボーリングからの湧水量も最終的には 12ton/min に達した。実際、この付近に TBM が接近するに従い、亀裂間隔の発達、亀裂面の開口、さらに湧水量の漸増傾向が加速していった。



写真-1 長尺ボーリング湧水状況

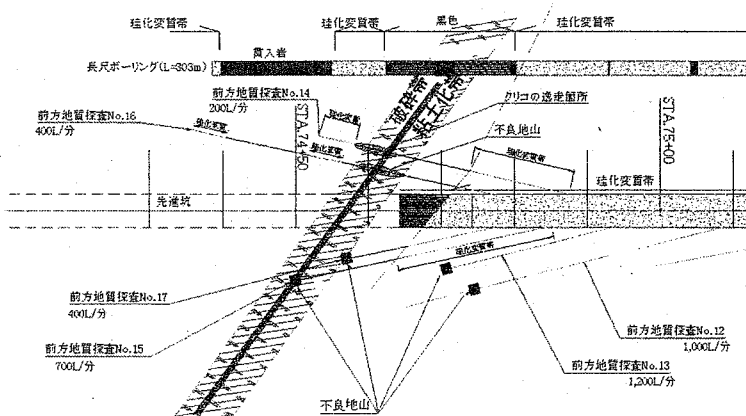


図-2 長尺鋼管先受け施工位置付近の想定地質平面図

そこで、TBM 搭載の削岩機により前方探査ボーリングを追加し、詳細な、地質状況、湧水状況の把握に努めた。その結果、粘土化した部分を中心とした破碎帯の位置をほぼ特定することができた (図-2)。この破碎帯は高圧湧水を遮水しており、TBM がこの遮水層を破った時点で、突発的な大量湧水をとまなうことが懸念された。TBM は切羽の安定性が確保できない場合には、薬液注入により安定性を向上させるか、ある程度

の崩落を取り込みながら掘進し、TBM 通過後に後方で空洞充填を行う方法が採られる。しかし、大量湧水をとまう場合には注入材が流出してしまい効果的な注入が困難であり、当初は小規模な崩落であっても大規模化する可能性がある。そこで、破碎帯に対して多数の水抜きボーリングを追加し、切羽前方の水圧の低減を図った。

3. 事前対策工法の実施

TBM 再発進後の地質は濃飛流紋岩であり、岩片は堅硬であるが亀裂は細かく発達している。部分的に厚薄の粘土層を挟在している。そのため、TBM 本体後方に搭載している削岩機による前方探査は単管削孔では削孔時の孔荒れが激しく、40m 以上の長尺削孔が困難であった。また、二重管による削孔では削孔速度が遅く、施工効率が低下する。そこで、特に孔荒れが激しい TBM 本体付近および切羽から 3m 程度前方（削孔延長 16m 程度）までの緩み範囲を二重管削孔で孔壁を保護し、その先を単管削孔で延伸する工法を採った。この工法により 40m 以上の長尺削孔を迅速に行うことが可能になった。

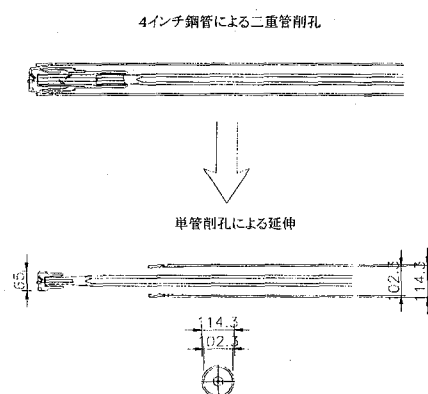


図-3 二重管併用単管削孔の概要図

また、湧水状況を確認し、適切数の水抜きボーリングの施工により、排水効果を上げることはできたが、亀裂の発達した区域で切羽の安定確保は困難な状況と判断し、安定性の向上および崩落発生時の拡大防止を目的として長尺鋼管による TBM 切羽前方の先受けを計画、実施した。

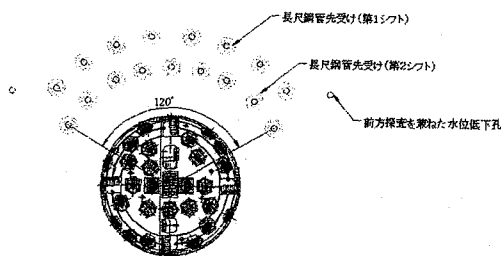


図-4 AGF 施工概要図

長尺鋼管先受けは最も粘土化の著しい箇所を中心として 2 シフトを施工した。TBM 前方 10m の先受けとし、TBM 後方から 1 シフトの鋼管長を 21m とした。作業場所が狭小で 1 シフトの鋼管長が長い為、施工速度は低下した。また、注入は流水下で限定注入が可能なパッカ方式とし、湧水への対応性の高いシリカレジンを注入した。

長尺鋼管先受けの施工完了後、TBM による掘進を再開した。切羽に流れ込む湧水が多く、亀裂はかなり密集しており、20cm 程度の粘土層も確認された。この粘土層は湧水とともに流出し、切羽の崩壊も発生したが、長尺鋼管先受けの縫い付け効果により大規模な崩落には到らず、TBM 掘進により切り抜けることができた。

4. 事前対策未施工区間における崩落状況

以上に述べた大量湧水帯から約 30m 進行した STA.74+36 付近では、大規模な切羽天端の崩落により TBM カッタヘッドの拘束により回転が不能な状態となった。この区間はシールドリバースによる長尺の前方探査を実施していなかったため、TBM 搭載削岩機による前方探査を先行しながらの施工であった。TBM 搭載削岩機はシールドリバースと違ってノンコアボーリングであるが、削孔時のマシンデータから削孔エネルギーを算出し、不良地山を把握することができる。この位置でも削孔エネルギーが低かったが、湧水量に顕著な増加が見られなかったため長尺鋼管先受けは実施せずに TBM を掘進した。

崩落状況は当初は小規模であったが、崩落の拡大とともに湧水量も急増していき、TBM カッタヘッドへの流入量は 5ton/min に達した。薬液注入も流出が激しく、地山改良が困難な状況になった。さらに、崩落した岩塊が TBM カッタヘッド前面に押しかかりカッタヘッドの回転を不能にした。

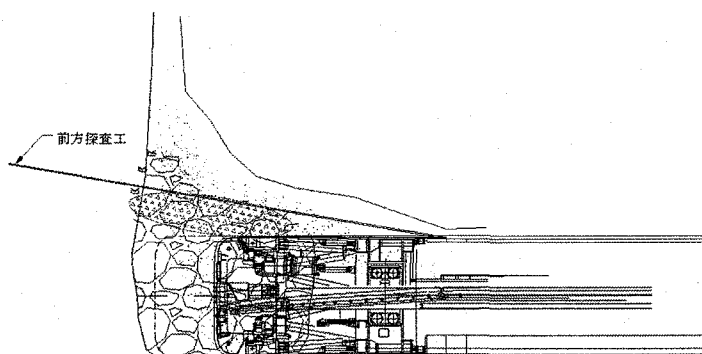
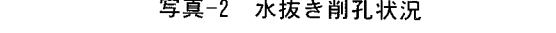


図-5 崩落状況縦断面図 (STA. 74+36 付近)

5. 水抜き坑による高圧大量湧水帯の突破

STA.74+36 付近における崩落に対しては、先進坑の崩落部に流入する 5ton/min におよぶ大量の湧水を減水しなければ薬液注入効果が期待できず、現状で TBM による掘進は困難であると判断し、TBM の左右に矢板工法による水抜き坑を掘削し、崩落部に流れ込む湧水を後方にかわす対策をとった。トンネル進行方向右側の水抜き坑はレッグドリルによる発破掘削を効率的に行い、小型のボーリングマシンによる TBM 方向への削孔が可能な最小掘削断面の約 5m^2 とした。一方、左側の水抜き坑はシールドリバースによる長尺ボーリングのボーリング基地として有効に利用するために掘削断面積約 8m^2 とした。それぞれの先進坑との離隔は水抜き効果を高めるために相互の影響が少ない範囲で極力近づけるものとして側壁間を 5m とした。(図-6)

この左右の水抜き坑により TBM 前方崩落部に流入する湧水量は半減したものの、なお、薬液注入が困難な状況を脱することはできなかった為、右側の水抜き坑から小型のボーリングマシンを 3 台 (写真-2)、左側にはシールドリバースマシン、ロータリーパーカッション等の大型のボーリングマシンを搬入して水抜きが



今回採用した二重管併用式の前方探査により TBM 搭載削岩機による 40m 以上の削孔が可能になり、綿密な補助工法の計画ができたもののデータ不足による不良地山の確認ができなかった。今後は、長尺ボーリング

グ結果、TBM 掘進データ及び前方探査の整合性を分析、整理することにより、効率的で的確な事前対策を採用していきたいと考える。

鋼管先受けは不良地山における崩落部の拡大防止に効果があったが、今後の区間は、亀裂の発達区間が存在し確認されており、今後の対策基準を明確にしていく必要がある。

飛驒トンネルは今後も土被りの増加に伴い大量湧水帯が連続することが予想されるが、水抜き工法の併用を欠くことはできない。ただし、水抜きボーリングをどの程度施工すれば良いかについては、湧水量、湧水圧に対応した TBM の掘進状況により判断していく必要がある。さらに、現在まで、あるいは今後発生する切羽崩落に対して崩落のメカニズムをより詳細に分析することにより、事前対策の方針を選択していくことが重要であると考ええる。