

栗子トンネル避難坑の削孔検層を併用した TBM掘進

宮沢一雄¹・中野清人²・城本政雄³・笹尾春夫⁴

¹正会員 東日本高速道路(株) 東北支社 福島管理事務所 (〒960-0231福島市飯坂町平野字前原11)
k.miyazawa.aa@e-nexco.co.jp

²正会員 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508東京都町田市忠生1-4-1)

³鉄建建設(株) 土木本部 土木部 (〒101-8366東京都千代田区三崎町2-5-3)

⁴フェロー 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 土木技術部 (〒101-8366東京都千代田区三崎町2-5-3)

東北中央自動車道栗子トンネルは福島県と山形県を結ぶ延長約9,000mの長大トンネルである。本坑掘削に先立ち掘削した避難坑のうち、福島側約5500mはφ4.5mのTBMで施工した。TBM区間には花崗岩類、凝灰岩や凝灰角礫岩、デイサイトの貫入岩が複雑に分布し、随所に地質不良区間が存在すると予想された。地質不良区間の出現を把握し対策工の要否を判定するために、ほぼ全線にわたって削岩機による削孔検層を実施した。削孔検層の結果より判断し、注入式長尺鋼管先受け工などの補助工法を併用して掘進を進め、TBM掘進が中断するなどの大きなトラブルは無く、順調に掘進が完了した。平均月進は240mであり、また最大日進31.5m、最大月進453mを記録した。

Key Words : TBM, mountain tunnel, dacite, drill-logging, fracture energy, auxiliary method, long steel forepiling,

1. はじめに

栗子トンネルは、東北中央自動車道の福島JCT（仮称）～米沢IC（仮称）間に位置し、福島県と山形県の県境付近に計画された延長約9,000mの長大トンネルで、完成すれば道路トンネルとしては国内で4番目の長大トンネルとなる。

本坑の施工に先立ち避難坑を施工したが、事前の地質調査の結果、福島県側では山形県側に比べて比較的地質が良好であったことから、福島県側の延長約5.5kmをφ4.5mのTBMで掘進した。

掘進にあたって削孔検層による切羽前方探査と水抜き工を先行した上で、注入式長尺鋼管フォアパイリングと

矢送り・縫い地の補助工法、ファイバーモルタル吹付けによる対策工により一度もTBMを拘束することなく貫通することができた。

掘進実績は、2006年11月に掘削を開始、最大日進31.5m(2007年11月)、最大月進453m(2007年5月)、平均月進240mとTBMとして的高速掘進を実現し、2008年12月にすでに施工済みの山形側の山岳工法区間に到達貫通した。

ここではTBM掘進の概要を報告する。

2. 地質と湧水

TBM区間の地質（図-1）は前半部（坑口から約2,000

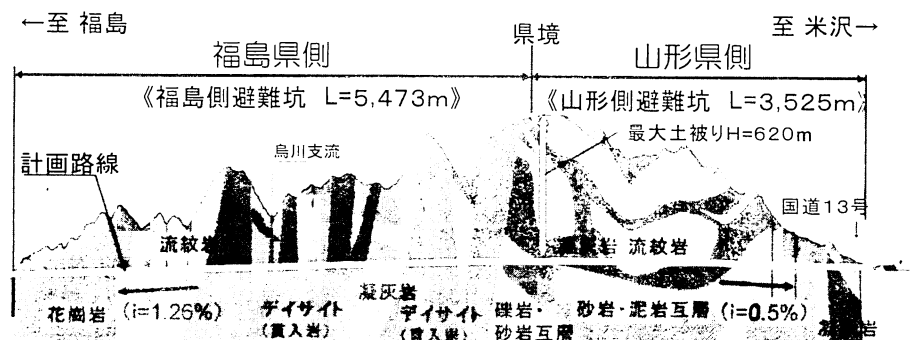


図-1 栗子トンネル概略地質縦断面図

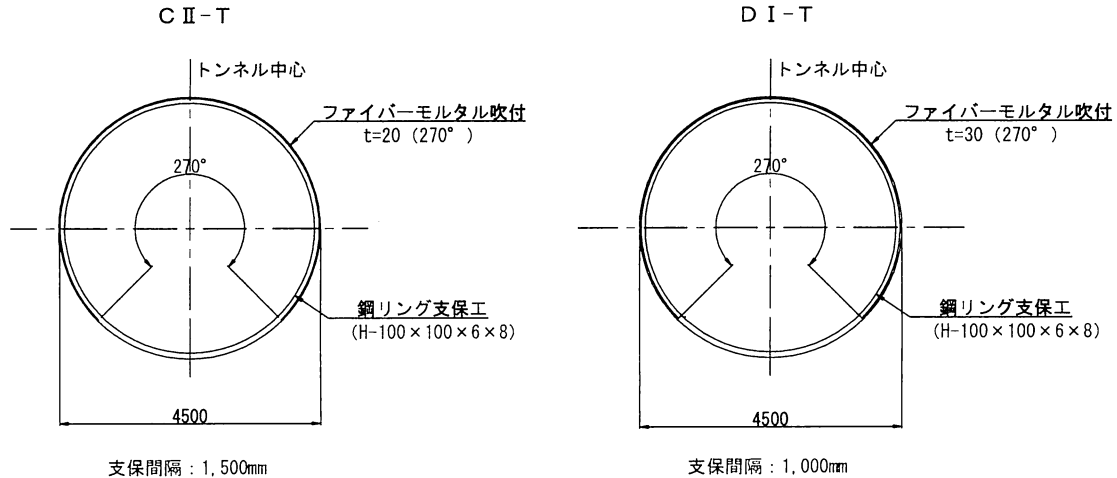


図-2 支保パターン (C II-T, D I-T)

mまで)には当地域の基盤を成す中生代の花崗岩類が主として分布し、後半部(坑口から約2,000m以降)にはこれを覆って凝灰岩や凝灰角礫岩を主体とする火山砕屑物が分布し、部分的に火山砕屑岩を貫くデイサイトや流紋岩の大規模な貫入岩があり、かなり複雑な地質構造を成していると想定された。

TBM掘進後の実績としては、前半部(坑口から2,400mまで)は想定された通りの花崗岩類が大勢を占めた。ただし、湧水量については、既往のボーリング調査結果から想定された240～540ℓ/mをはるかに越え、最大5,000ℓ/minの坑口湧水量が確認された。中盤(坑口から2,400m～4,200m)以降は、大規模なデイサイトの貫入が想定されていたが、実績は火山礫凝灰岩中にデイサイトが脈状に貫入しており、層境で坑壁の崩落が発生した。また、湧水量は火山砕屑岩中で減少したが、坑口より約4,200m付近から約400m間にわたってデイサイトの大規模な貫入区間があり、亀裂からの湧水が再び増加し、坑口でトンネル湧水量は合計約8,300ℓ/minを記録した。その後(T.D.4,600m以降)の岩質は、礫岩砂岩・砂岩泥岩の各互層状態となり、湧水量は減少した。

3. 施工

(1) 支保パターンの実績

支保パターン(図-2)については、削孔検層による前方探査の結果に加えTBMの機械データ(トルク、スラスト等)、掘進中のルーフ上の崩落の有無とその規模、壁面の亀裂の状態、湧水状況などより、あらかじめ設定したパターン選定のためのフローチャートに従って総合的な判定基準の下で選定した。

事前調査で予想できなかった地山脆弱区間や多量の湧水のため、設計では2割弱であった支保パターンDは、

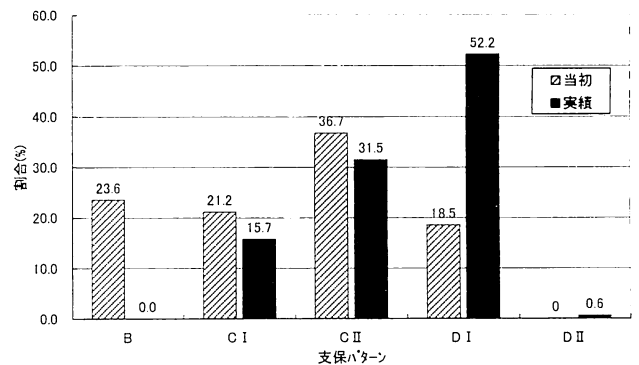


図-3 支保パターン計画実績対比

実績では5割強と約3倍に増加した。当初設計と実績支保パターンの比較を図-3に示す。当初設計では、支保パターンBおよびCは全体の81.5%、Dは18.5%であったが、実績ではCが47.2%、Dが52.8%となり、約半数をD Iパターンで掘進した。また、D Iに占める補助工法の割合は、注入式長尺鋼管フォアパイリングおよび注入式・充填式フォアボーリングが約276m(約10%)、矢送り・縫い地が約800m(約28%)であった。

(2) 抗壁の崩落と補助工法

工区全体の50%を超えたD I区間では、ほぼ全域にわたる地山崩落が発生しており、場合によっては大規模な崩落に至りかねない状況であった。掘進に支障をきたすルーフ上での壁面の崩落は、10cm未満の部分的、小規模なものから、1mを超えて天端120°以上の範囲にわたる大規模なものまで様々であった。このうち、TBMを拘束する可能性のある大規模崩落に対してはカッター前方での対策として注入式長尺鋼管フォアパイリング、その他大小の崩落に対しては、ルーフ上での矢送り・縫い地の補助工法とファイバーモルタル吹付け

による対策工により対応した(図-4)。それぞれの地質区間における崩落の状況と対策について以下に述べる。

a) 花崗岩区間

坑口から約700mの花崗岩、花崗閃緑岩が支配的であった区間の風化部では多くがマサ化しており、また、割れ目が発達した区間や破碎帯区間では地山がかなり脆弱化しており、一般的な塊状花崗岩に比較してかなり脆い地山であった。さらに、坑壁の亀裂部分からの湧水も多く、そのため天端の崩落が助長された(写真-1)。補助工法は注入式長尺鋼管フォアパイリングの他、崩落抑制のための木矢板や半割丸太を使用した矢送り・縫い地(写真-2)を多用し施工した。

b) デイサイト区間

貫入岩のデイサイトが支配的な区間の風化・変質部で

は、湧水の発生や節理の発達から崩落が大きくなり主としてD Iパターンでの掘進となった。この区間では坑壁の崩落が拡大傾向となり、前方探査で同様の地質が続くと判断された場合は注入式長尺鋼管フォアパイリングを、中規模程度の崩落(100cm未満)の発生箇所には矢送り・縫い地で対応し掘進した。

c) 堆積岩優勢区間

火山礫凝灰岩にデイサイトが脈状に貫入している区間では層境で地山が脆弱化し、また貫入岩自体も亀裂が発達し粘土層を挟在して崩落が発生した。礫岩砂岩・砂岩泥岩の互層区間では湧水により層状の剥落や、亀裂の剥離による崩落が助長された。また、崩落が少ない場合でも、TBM掘進後の時間経過により亀裂の開口が進むことにより坑壁の押し出しが生じ、鋼リング支保工の建て

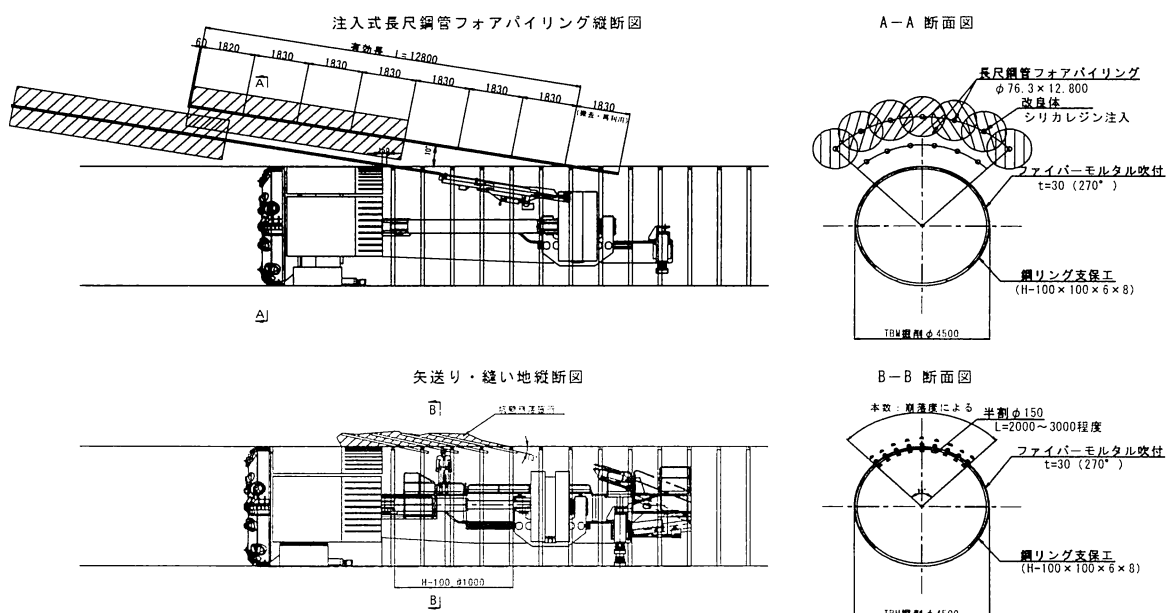


図-4 補助工法図



写真-1 崩落状況



写真-2 矢送り・縫い地

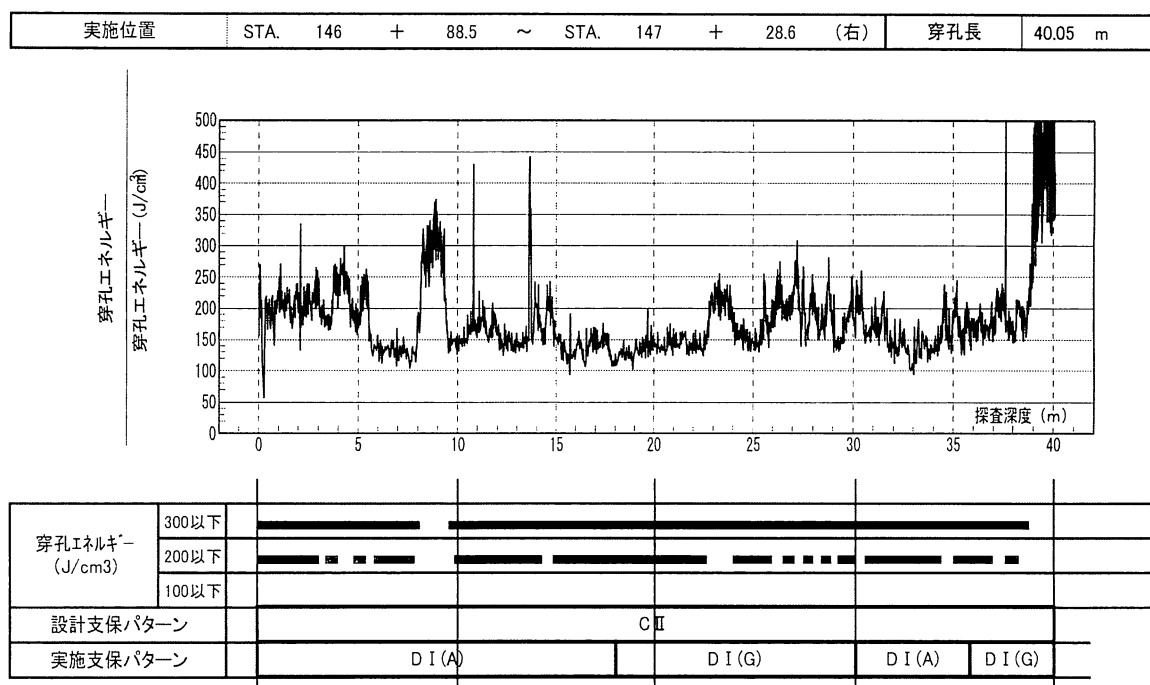


図-5 削孔検層結果と補助工法の施工

込みが困難となる場合があった。この区間では崩落箇所
でTBMを止める事なく速やかに通過するため、あえて
掘進停止を伴うフォアパイリング等の対策をせず、矢送
り・縫い地により地山の緩みを防止しつつ、崩落部分の
充填を既存のファイバーモルタル吹付けで併用した対策
工が有効であった。

(3) 削孔検層

TBMに搭載した削岩機により、ほぼ全線にわたり削
孔検層による前方探査を実施した。一回の削孔長は最大
50mで、計 71 回の検層を実施した。なお、TBM搭載
の削岩機は長尺削孔検層の効率化を図るためフィード長
3mを確保できるよう特別に設計したものである。

主としてこの削孔検層による穿孔エネルギーの大小を
注入式長尺鋼管先受け工を施工するにあたっての判断基
準とした。

図-5 に削孔検層の穿孔エネルギーの大きさとその変
化状況から注入式長尺鋼管フォアパイリングの打設を決定
した例を示す。この例では穿孔エネルギーの閾値を
150J/cm³として充填式フォアボーリングとAGFの施工
を決めている。

4. 終わりに

栗子トンネル東避難坑のTBM掘進の施工概要を報告
した。今回の施工にあたり膨大なデータがTBM掘進管
理システムに記録されている。今後、地質観察記録、削
孔検層結果等の施工記録と合わせてこれらのデータを整
理し、将来のTBM施工のための有用な資料とすべく詳
細な分析を進める予定である。

Excavation of Kuriko Evacuation Tunnel with TBM Utilizing Drill-Logging

Kazuo MIYAZAWA, Kiyoto NAKANO, Masao SHIROMOTO and Haruo SASAO

The Kuriko Tunnel is a long tunnel spanning about 9,000 m. Before excavation of the main tunnel, an evacuation tunnel was constructed. The portion about 5,500 m of the evacuation tunnel was excavated with a TBM 4.5 m in diameter. The geological structure in the TBM-driven zone is generally complex, so, the geology was assumed to be adverse in many sections. To predict geologically adverse areas, boreholes 50 m long for drill-logging were driven. In adverse areas, ground was improved before excavation, with long steel forepiling or other methods. Without serious problems in tunneling works, the monthly advance was 240 m on the average and 453 m at maximum, and the maximum daily advance was 31.5 m.