

# T B M掘削における削孔検層とマシンデータに基づく崩落地山対策の検証 —東北中央自動車道 栗子トンネル東避難坑—

東日本高速道路(株) 東北支社 福島管理事務所 正会員 ○宮沢 一雄  
鉄建建設(株) 土木本部 土木部 城本 政雄  
鉄建建設(株) エンジニアリング本部 土木技術部 フェロー 笹尾 春夫

## 1. はじめに

東北中央自動車道 栗子トンネルは、福島県と山形県の県境に計画されている延長約9kmの長大トンネルであり、山岳トンネルとしては、国内3位、東北最長のトンネルである。本坑の施工に先立ち、地質調査と水抜きを兼ねて避難坑を先行施工した。工法は、福島県側約5.5kmは、地質が花崗岩、石英安山岩、流紋岩等の比較的硬質な地山であったことからT B M (φ4.5m)を採用し施工を行ったが、調査・設計時点では予知できなかった突発的な大量湧水(最大500t/hr)と崩落地山(全掘削長の約5割)が出現し、掘削当初は幾度となく掘進停止を余儀なくされた。本報告はT B M施工において削孔検層やT B Mマシンデータを活用した崩落地山対策の検証について報告するものである。

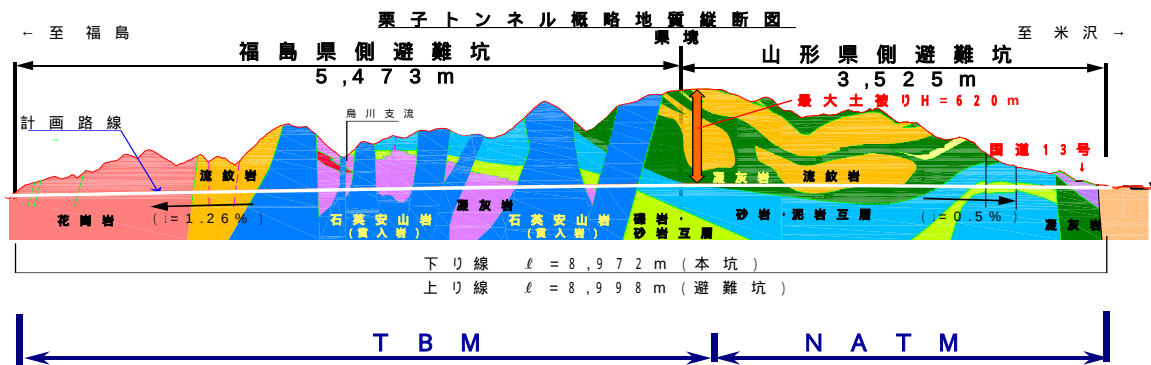


図-1 栗子トンネル概略地質縦断

## 2. 削孔検層とT B Mマシンデータの活用

T B M本体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。この削孔検層による穿孔エネルギーの大小から掘削地山を定量的に予測評価し、崩落対策である注入式長尺鋼管フォアパイルリング(AGF)を施工する判断基準とした。さらに掘削と同時に得られるT B Mマシンデータから掘削エネルギー(単位堆積の地山を掘削するのに要するエネルギー： $E_t = \{(F \cdot 1000) + (2 \cdot \pi \cdot N \cdot T \cdot 1000 \cdot 100) / (V \cdot 0.1)\} / A$ ) (F:スラスト推力、N:カッタ回転数、T:カッタトルク、V:掘進速度、A:断面積)、ルーフサポート圧力、ベルコンスケールとスキャンシステムを併用した排土量により崩落対策の再検討や支保選定基準として活用した。

## 3. 崩落地山対策の検証

削孔検層から得られる穿孔エネルギーとT B Mマシンデータ、地山状況等を実際に削孔検層により予め崩落地山対策としてAGFを施工したS T A 154(TD4,200)付近のシートを図-2に示す。穿孔エネルギーは150J/cm<sup>3</sup>程度と低い状態であったがS T A 154+16以降に急激に上昇、付近では240ℓ/minの湧水があり、火山礫凝灰岩からデイサイトへの岩質変化に伴い層境の弱層部で大きな崩落が予想されたためAGFの採用を決定し、4シフト施工した。掘削エネルギーも同様な傾向を示し良い位置でAGFの施工ができたことがマシンデータからも伺える。延長5,500mの掘削において崩落地山対策としてAGFを施工した全14箇所について同様に削孔検層、マシンデータ、地山状況等を取りまとめて検証を行った結果を図-3に示す。

キーワード：山岳トンネル、T B M、削孔検層、補助工法

連絡先：福島市飯坂町平野字前原 11 024-542-0111 E-mail:k.miyazawa.aa@e-nexco.co.jp

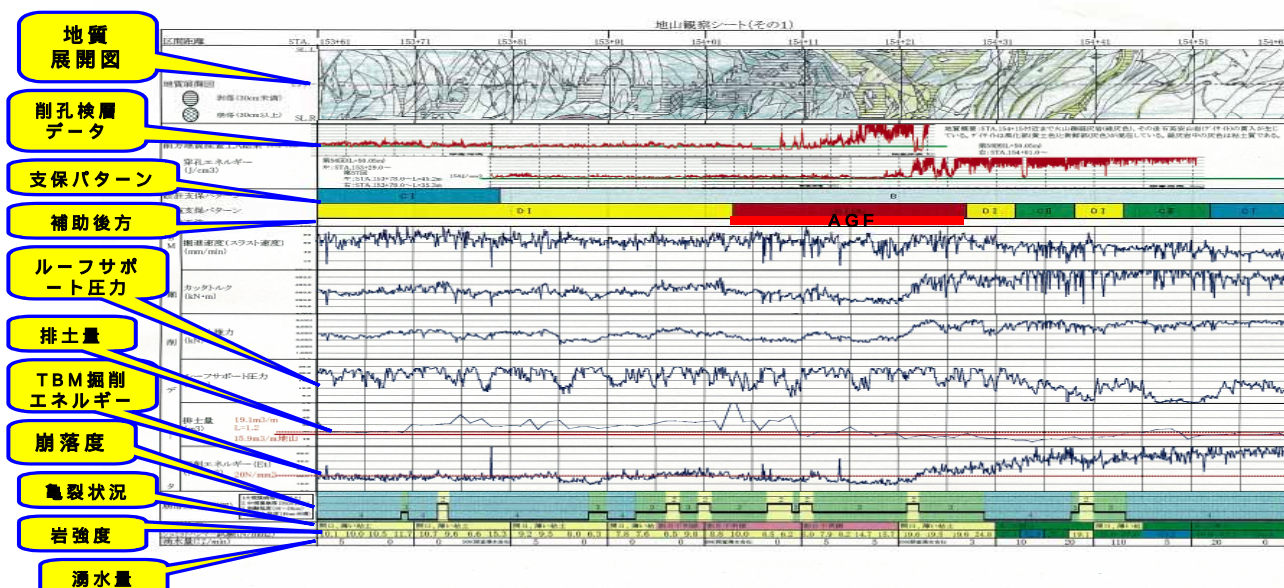


図-2 削孔検層・TBM 機械データ・地山状況シート

TBM掘削における崩落性地山対策の検証

| 区間 距離        |                                                                           | 113+75<br>~ 90<br>TD 198 | 117+10<br>~ 40<br>TD 533 | 117+60<br>~ 80<br>TD 583  | 117+90 ~<br>118+00<br>TD 613 | 118+10<br>~ 20<br>TD 633  | 118+20<br>~ 40<br>TD 643  | 118+45<br>~ 50<br>TD 668  | 118+70 ~<br>119+25<br>TD 693 | 147+35<br>TD 3,50<br>8          | 148+50<br>~ 60<br>TD 3,67 | 153+30<br>~ 45<br>TD 4,15 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 地質           |                                                                           | 花崗閃緑岩                    | 花崗閃緑岩                    | 花崗閃緑岩                     | 花崗閃緑岩                        | 花崗閃緑岩                     | 花崗閃緑岩                     | 花崗閃緑岩                     | 花崗閃緑岩                        | 凝灰角礫岩<br>+ 泥岩                   | 凝灰角礫岩<br>+ 泥岩             | 火山礫凝灰<br>岩 + 凝灰<br>岩      |
| 支保パターン       |                                                                           | D - T(A)                 | D - T(A)                 | D - T(A)                  | D - T(A)                     | D - T(A)                  | D - T(A)                  | D - T(A)                  | D - T(A)                     | D - T(A)<br>D - T<br>(G)        | D - T(A)                  | D - T(A)                  |
| 補助工法         |                                                                           | AGF +<br>矢送り             | AGF +<br>矢送り             | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor    | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor | AGF +<br>矢送り +<br>水抜き Bor    | AGF +<br>矢送り +<br>GFRP +<br>矢送り | AGF +<br>矢送り              | AGF +<br>矢送り              |
| 前方<br>探査     | 穿孔エネルギー<br>J/cm <sup>3</sup>                                              | Min 90<br>振幅<br>90-600   | Min 100<br>振幅<br>100-700 | Min 100<br>振幅<br>100-500  | Min 50<br>振幅<br>50-500       | Min 100<br>振幅<br>100-500  | Min 100<br>振幅<br>100-500  | Min 100<br>振幅<br>100-200  | Min 50<br>振幅<br>50-500       | Min 100<br>振幅<br>100-300        | Min 100<br>振幅<br>100-300  | Min 100<br>振幅<br>100-250  |
|              | TBM<br>マシン<br>データ                                                         |                          |                          |                           |                              |                           |                           |                           |                              |                                 |                           |                           |
|              | 掘削エネルギー<br>N/mm <sup>2</sup>                                              | Min 9                    | Min 9                    | Min 7                     | Min 10                       | Min 15                    | Min 10                    | Min 10                    | Min 6                        | Min 10                          | Min 10                    | Min 12                    |
| 坑壁<br>状況     | ルーフサポート圧力<br>Mpa                                                          | Max 12                   | Max 8                    | Max 20                    | Max 12                       | Max 14                    | Max 14                    | Max 18                    | Max 20                       | Max 20                          | Max 25                    | Max 25                    |
|              | 排土量<br>地山 15.9m <sup>3</sup> /m                                           | Max 70                   | Max 60                   | Max 50                    | Max 50                       | Max 60                    | Max 40                    | Max 60                    | Max 60                       | Max 60                          | Max 50                    | Max 50                    |
|              | 崩落度<br>1:大規模 (1m以上)<br>2:中規模 (30cm以上)<br>3:小規模 (10cm以上)<br>4:無崩落 (10cm以下) | 2 3                      | 2 3                      | 1 3                       | 1 3                          | 2 4                       | 3 4                       | 1 3                       | 1 4                          | 2 4                             | 2 3                       | 1 3                       |
|              | 亀裂状況                                                                      | 開口薄<br>い粘土<br>挟む         | 開口薄<br>い粘土<br>挟む         | 開口薄<br>い粘土<br>挟む          | 開口薄<br>い粘土<br>挟む             | 開口薄<br>い粘土<br>挟む          | 開口薄<br>い粘土<br>挟む          | 開口薄<br>い粘土<br>挟む          | 開口薄<br>い粘土<br>挟む             | 開口薄<br>い粘土<br>挟む                | 開口薄<br>い粘土<br>挟む          | 割目不<br>明瞭                 |
|              | 岩石強度<br>N/mm <sup>2</sup>                                                 | Min 6.0                  | Min 5.0                  | Min 6.3                   | Min 13.3                     | Min 32.6                  | Min 8.8                   | Min 6.1                   | Min 6.5                      | Min 8.6                         | Min 5.2                   | Min 5.5                   |
| 湧水量<br>l/min |                                                                           | Max 20                   | Max 20                   | Max 400                   | Max 200                      | Max 600                   | Max 100                   | Max 90                    | Max 1,300                    | 0                               | 0                         | Max 3                     |

図-3 TBM掘削における崩落性地山対策の検証

### 3. まとめ

- (1)崩落対策を実施する穿孔エネルギー基準値は、当初 100J/cm<sup>3</sup> 以下としていたが、その後の掘削経過により火成岩系では 200J/cm<sup>3</sup> 基準レベルから降下傾向が連続する場合とした。堆積岩系では貫入岩層境での崩落が顕著であったので穿孔エネルギーを相対的に評価した。
- (2)削孔検層により予知されなかった大量湧水(最大 1,300l /min)を事前確認できた。50l /min 以上の湧水箇所では湧水に伴う崩落が拡大した。
- (3)穿孔エネルギー・TBM掘削エネルギー・坑壁岩強度のデータは多くの相関性があり、さらに検証と解析を行うと地山状況予測評価の有効な手段となる。

突発大量湧水や崩落性地山に遭遇したが、一度もTBMを拘束することなく貫通することができた。削孔検層データやマシンデータなどを活用すれば、地山のより詳細な情報が得られ、不良地山箇所や湧水の予測が可能で予め対策が可能であり不良地山におけるTBMの適用範囲を大きく広げることができたと考えられる。