

切羽面先行穿孔による大型ブレイカ掘削効率の改善効果に関する一考察

四国電力(株) 正会員 ○野村悠太 正会員 松田光司
正会員 川崎真治 正会員 井櫻政泰
大成建設(株) 正会員 山田貴久

1. はじめに

本工事は、総延長約 350m、幅 9.2m、高さ 5.9m、内空断面積約 50 m²、2 方向 2 車線（片側幅員 3.0m）のトンネルを施工するものである（図－1）。

トンネルルートは、ほぼ全延長が一軸圧縮強度 80MN/m²程度の硬質岩盤であり、従来このような岩盤での掘削は、施工性・経済性を踏まえ発破掘削を採用することが多い。しかし、トンネル周辺には重要設備が多く、発破により発生する振動が周辺の重要設備に影響を与えないよう工事を進める必要があった。このため、掘削時の振動が少ない機械掘削を採用し、硬質岩盤において我が国でも実績の少ない全線大型ブレイカによるトンネル施工を行った。

また、工程上の制約条件として、掘削開始から 15 ヶ月以内に供用開始する必要があった。しかし、一軸圧縮強度 100 MN/m²を超える超硬質な岩盤の出現により掘削効率が大幅に低下し、供用開始期限を超過する見通しとなった。このため、掘削を助勢する工法（以下、「掘削補助工法」という。）として切羽面に穿孔工を先行して施工することにより、掘削効率を改善し、供用開始期限を遵守することとした。

本稿では切羽面先行穿孔による大型ブレイカ掘削効率の改善効果について報告する。

2. 掘削地点における地質概要

掘削地点の地質は、三波川変成岩類のうち主に塩基性片岩からなる。敷地内の塩基性片岩は、片理が発達しているものの、剥離性が弱く、塊状かつ硬質である。片理面は N30°～40° W の走向で南西方向へ 10～30° で緩やかに傾斜している。このため、片理面の傾斜は、トンネルの平面線形が曲線半径 160m でカーブしているため、切羽面において掘削の進捗に合わせ刻々と変化することとなる（図－2）。

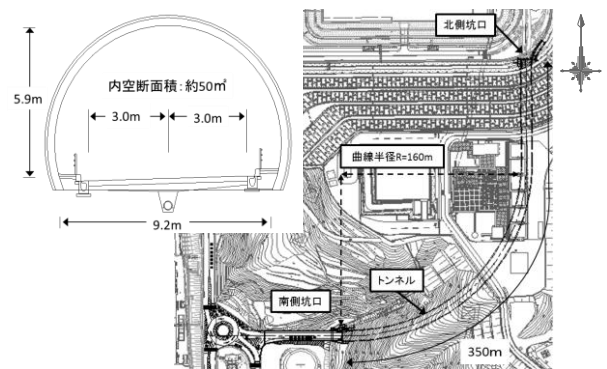
トンネルルートにおける一軸圧縮強度は、ボーリング調査結果から、ほぼ全線が 80MN/m²程度の硬質岩盤である（図－2）。

3. トンネル掘削機械の選定

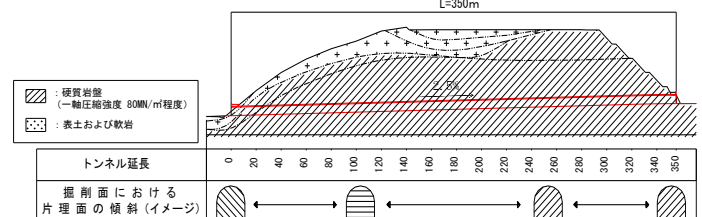
掘削機械は、採用実績が多く低振動での施工が可能

であり、岩盤の片理面の傾斜等が変化することに対して、ノミの打込み方で柔軟に対応することが可能な大型ブレイカを採用することとした。また、大型ブレイカの仕様は、ほぼ全線が一軸圧縮強度 80MN/m²程度の硬質岩盤であることから、弾性波速度 4.5km/s（一軸圧縮強度 100 MN/m²程度）の硬質岩盤が施工可能な 4 t 級大型ブレイカ（以下、「大型ブレイカ」という。）とした（図－3）。

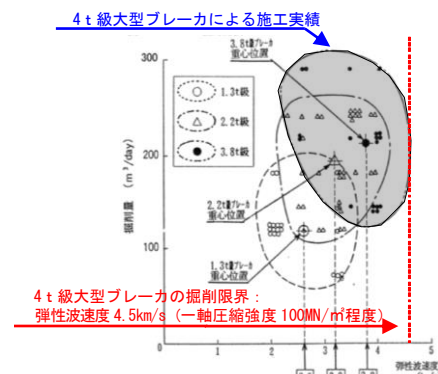
トンネル工法は、ほぼ全線が硬質岩盤であることから、切羽付近の地山が自立すると想定されるため、山岳工法（NATM）を採用した。なお、掘削は、施工中の排水を考慮し、2.5%の上り勾配となる南側坑口から片押しにて施工した。



図－1 トンネル一般平面図・標準断面図



図－2 地質断面図



図－3 大型ブレイカの掘削能力

4. 超硬岩区間の出現による掘削補助工法の採用

大型ブレイカによる機械掘削は、日施工量を約 5 mとすることで、供用開始期限を遵守できる見通しであった。しかし、南側坑口から約 40m付近において、想定した岩盤強度を大幅に上回る 100～200MN/m²の超硬質な岩盤が出現し、日施工量が約 1mと大幅に低下した。

この想定以上の超硬岩区間は、急峻な尾根部に出現しており、今後約 100mは存在すると判断した。これにより、掘削工程がトンネルの供用開始期限を約 4 ヶ月超過すると予想されたため、掘削補助工法を採用し日施工量の改善を図ることとした。

掘削補助工法は、振動による重要設備等への影響を考慮して工法を抽出し検討を行った結果、ロックボルトの打設で使用しているドリルジャンボが流用可能であり、施工サイクルにおいて重機入替が不要であるとともに、月進捗が早い先行穿孔工を採用した（表－1）。

5. 掘削補助工法（先行穿孔工）の施工

大型ブレイカ掘削では、切羽面に芯抜き効果を得られるようにするため、下半を先行して掘削した。当該地点は岩盤強度が高いため、下半を先行して掘削し不安定な状態とした上で上半を掘削することで掘削効率を改善することとした。

掘削補助工法を採用した場合も同様に、切羽面の下部に先行穿孔工により孔を開け、大型ブレイカにて下方向へ掘削し自由面を形成した後、片理面に沿って大型ブレイカのノミ先をあてることで切り抜けることとした。

また、切り抜げにあたっては、切羽面の外周部に沿って孔を開けることで、自由面からの切り抜け効果が増加すると考えられたため、外周部においても下部と同様に孔を開けることとした（図－4）。

先行穿孔工の施工にあたっては、穿孔位置および穿孔数により掘削効率の改善効果が変化することから、当該地山において試験施工を実施することとした。

試験施工では、複数のパターン（表－2）を実施し、総掘削時間（先行穿孔時間＋ブレイカ掘削時間）を確認した結果、パターン②において、時間当たりの掘削量が最大となったため、これを採用することとした。掘削補助工法は、一軸圧縮強度が連続して 100MN/m²を超える区間において採用し、その区間は、全延長のうち約 30%の 110mであった。

日施工量、地山の一軸圧縮強度（最大値）の実績を図－5に示す。補助工法を併用した結果、超硬岩区間の掘削時間は、日施工量約 1mだったものが、日施工量約 3mと大幅に短縮し、供用開始期限までに工事を完了することができた。

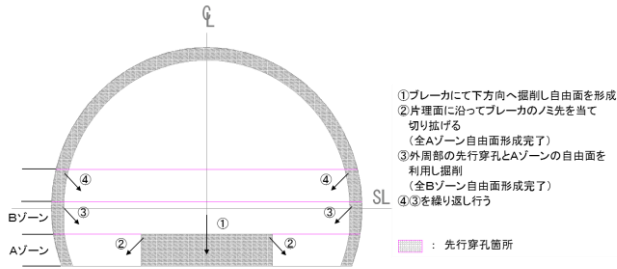
6. おわりに

本稿では、我が国でも実績の少ない硬質岩盤における全線大型ブレイカによるトンネル掘削において、超硬岩区間での切羽面先行穿孔による大型ブレイカ掘削効率の改善効果について報告した。今回報告した超硬岩区間に対する先行穿孔工を併用した掘削により、掘削効率を改善し日施工量を増加させ、トンネル供用開始期限を満足することができている。

本工事の実績が同種工事の参考になれば幸いである。

表－1 掘削補助工法比較表

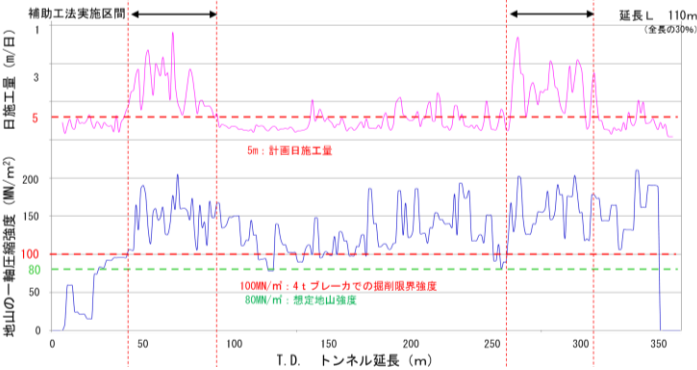
工法名	先行穿孔工	FON工法	割岩工法
概要	掘削面に多数の穿孔を行う	掘削面に連続した穿孔を行う	掘削面に穿孔し、油圧クサビで亀裂を発生させる
特殊設備	不要	不要	不要
使用機械	ドリルジャンボ	ドリルジャンボ SABロッド	ビッグー
月進捗 (一般値)	34.5m/月	30.8m/月	21.0m/月
評価	○	△	△



図－4 先行穿孔工による掘削手順

表－2 先行穿孔パターン

	パターン①	パターン②	パターン③
穿孔位置	トンネル外周・底部中央	トンネル外周・底部・隅角部	トンネル外周・底部・縦スリット
穿孔図			
穿孔数	176孔 (φ100)	242孔 (φ100)	313孔 (φ100)
時間あたりの掘削量	3.9m ³ /h	4.6m ³ /h	4.1m ³ /h
評価	△	○	△



図－5 日施工量および地山の一軸圧縮強度（最大値）