

小土被りで脆弱な凝灰角礫岩地山における大断面トンネル施工

青木あすなる建設㈱ 吉川 昌宏、宮川 祐治、岡田健司 正会員 ○高橋 裕之

1. はじめに

東北中央自動車道掛田トンネル工事では、地山強度比が1以下の区間が多く、スメクタイト(膨潤性粘土鉱物、浸水崩壊度:完全に泥状化)を含有した脆弱地山が分布していたため、天端や鏡面の崩落が頻繁に発生し、掘削工事の進捗の遅れによる工程の遅延が懸念された。そのため、施工中の前方探査(水平コアボーリング、穿孔探査、電磁探査)により、最適な支保パターン及び補助工法を検討・実施することで、切羽崩落を防止し地山の安定を図った。本報告では、前方探査の調査結果と対策工について述べる。

2. 工事概要

本工事の相馬福島道路は、常磐自動車道と東北自動車道を結ぶ約45kmの自動車専用道路であり、東日本大震災からの早期復興を図る復興支援道路として位置づけられていた。地質は、安山岩、凝灰角礫岩、花崗岩で構成されていた(図-1)。土被りは全線で小さいため(最大土被り約40m)、グラウンドアーチが形成されにくく、弾性波速度も1.6km/sec以下のため、脆弱で亀裂が多く、天端・鏡面の不安定化が懸念された。

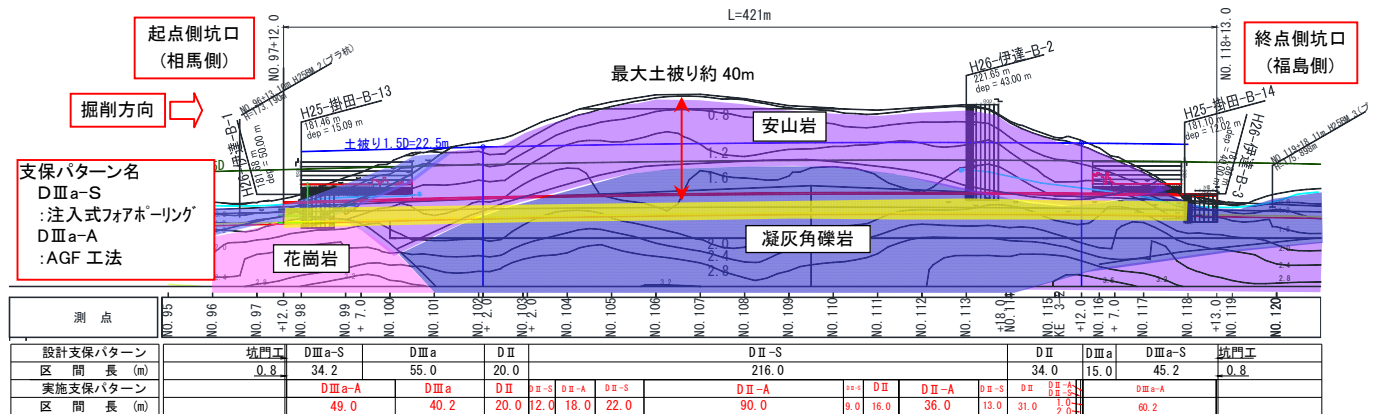


図-1 地質縦断面図・支保区分(上段黒文字:設計、下段赤文字:実施)

3. 前方探査結果と対策工の実施

トンネル全線で水平コアボーリング、穿孔探査、電磁探査を掘削前に実施し、A計測結果、切羽観察結果と併せて支保工の増強、補助工法を事前に検討した。

(1) 水平コアボーリング

水平コアボーリングは、パーカッションワイヤーライン工法(PS-WL工法、写真-1)により約100m毎に10mラップで実施し、ボーリングコアを用いた一軸、三軸圧縮試験により、地山物性値(変形係数、粘着力、内部摩擦角)を把握した。コアのX線回析による粘土鉱物(スメクタイト)の分布も併せて調査した。コアはスメクタイトを多量に含有し、一軸圧縮強度や変形係数は非常に低い結果となった(表-1)。また、連続打撃貫入抵抗(P値、NETIS:HR-180003-A)も約1,000(回/cm)以下であった。三軸圧縮試験の変形係数、粘着力、内部摩擦角を使用して、2次元FEM解析(非線形弾性解析)をトンネル全線で20m毎に実施した。解析結果は、天端沈下がトンネル中間部で最大で約300mm以上発生すると予測され、鋼製支保工応力、ロックボルト軸力は許容値を超過する結果となった。そのため掘削中はA計測結果、



写真-1 水平ボーリング状況
表-1 室内試験結果

項目	単位	試験値(平均値)
圧縮強度(一軸)	kN/m ²	80.6
変形係数(一軸)	kN/m ²	6,500
変形係数(三軸)	kN/m ²	20,400
粘着力(三軸)	kN/m ²	144.9
内部摩擦角(三軸)	°	11.4
単位体積重量	kN/m ³	18
スメクタイト	-	多量

キーワード 脆弱地山、スメクタイト、前方探査、AGF工法、長尺鏡ボルト

連絡先 〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町1 TEL03-5439-8513

切羽観察結果をもとに支保工の増強，補助工法の追加検討を迅速に行いながら施工した。

(2) 穿孔探査 (DRISS)

穿孔探査(DRISS)は切羽の脆弱部や湧水箇所を把握するため実施した。トンネル全線で上半断面(天端部，左右脚部)にて30m毎に5mラップさせて実施した。穿孔エネルギーから，脆弱部の把握や地山等級を推定した(図-2)。穿孔エネルギーが $100\text{J}/\text{cm}^3$ 以下の区間は，地山は脆弱で地山等級DII相当で，切羽に粘土化したすべり面が分布し，掘削直後に切羽の肌落ち，崩落が頻繁に発生した。

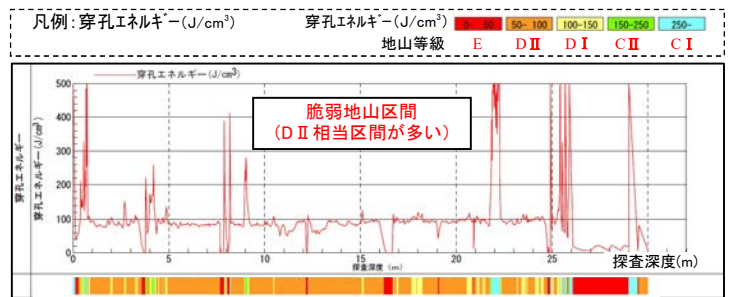


図-2 穿孔エネルギー測定結果

(3) 電磁探査 (FDEM 探査)

電磁探査(FDEM探査)は，湧水による地山の劣化部を事前に把握するため実施した。比抵抗値が 200Ω 以下の区間では，地山が粘土化し脆い状態となっており(図-3)，掘削後，切羽の肌落ち，崩落が頻繁に発生した。

なお，比抵抗値が 200Ω 以上の区間では，地山が粘土化しておらず，地山は新鮮で良好な状態であった。以上より，比抵抗値の大小が地山の脆弱化の目安となるため，本探査は湧水箇所，脆弱部を面的に把握でき，事前の岩質変化点や補助工法の実施範囲の検討に有効であることが確認できた。

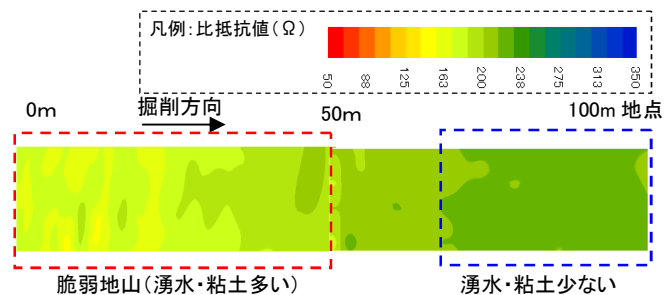


図-3 FDEM 探査

4. 脆弱地山での掘削状況

地山強度比が1以下で膨張性を示す脆弱な地山が断続的に出現した区間では，水平コアボーリングのコアも湧水により劣化・粘土化(写真-2)し，ハンマーの軽打で簡単に碎けた。

また，穿孔探査の穿孔エネルギーや電磁探査の比抵抗値も小さく，掘削中，天端からの崩落，肌落ちが度々発生(写真-3)した。これらの調査結果により AGF 工法及び鏡ボルトによる補助工法を検討・実施したことで(図-4，写真-4)，トンネルの安定を確保でき，天端沈下を最大で約15mm以下に抑制できた。



写真-2 ボーリングコア状況



写真-3 切羽崩落状況

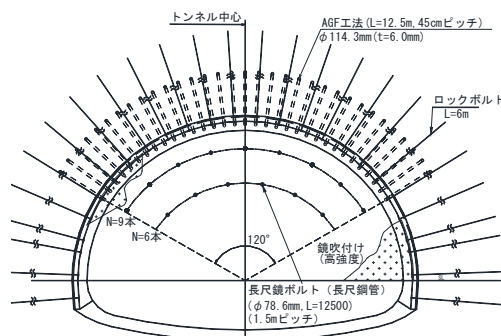


図-4 実施支保パターン図



写真-4 補助工法実施状況

5. まとめ

本工事は，度重なる切羽崩落や坑口の大規模な法面変状に遭遇したが，発注者と協議し，地質調査の実施により対策工を迅速に実施することで工程を遅延させることなく竣工し，2021年4月24日に無事全線開通を迎えることができた。今回の施工にあたり，貴重なご意見やご指導を頂いた国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所をはじめとする関係各位の皆様には深く感謝の意を表します。