

トンネル中間部の破砕帯に対する 性状把握と効果について

村岸 捺世¹・加藤 翔²

^{1,2}近畿地方整備局 奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)

京奈和自動車道大和御所道路のうち御所区間8工区は、御所南ICから五條北ICをつなぐ7.2kmの区間である。主に山間部に路線を計画していることから、区間の大部分がトンネル構造となっている。その1つである朝町トンネルにおいて起点坑口部の置換掘削に先立ち、整形作業段階で小崩壊が発生した。また、坑口掘削においてひび割れ等が発生したため、前方探査により地山の状態を把握する必要があった。そのため、トンネル工事を施工するにあたりDRISS（穿孔探査システム）を使用し前方地質調査を行った。本論文は、トンネル掘削を安全に行う事を目的としたDRISSの施工実績について報告するものである。

キーワード トンネル、安全対策、切羽前方探査、DRISS

1. はじめに

京奈和自動車道は京都と和歌山を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路で、図-1に示すように関西大環状道路の重要な路線の一つとして供用を目指している。そのうち、大和御所道路は大和区間と御所区間で構成される延長約27.2kmの道路である。南部13.4kmの御所区間は橿原市から五條市までの4市を通過し五條道路へと接続する。これらは高速道路や主要国道と連携することで相互のネットワークを形成し近畿大都市圏での時間短縮を図るための重要な役割を担う。



図-1 関西大環状道路

その御所区間のうち御所南ICと五條北IC間は、平成29年度夏頃の供用を目指し、現在施工を続けている。大和御

所道路朝町トンネルは、その区間にある御所市朝町地先をぬける計画延長261mのトンネルである（図-2）。

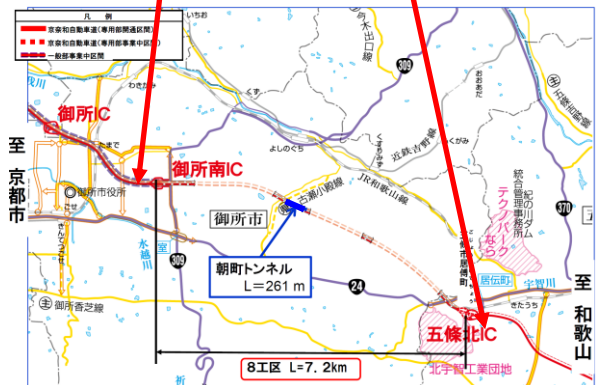


図-2 朝町トンネル位置図

本論文は、対象トンネルの施工にあたって前方探査の必要が生じたことから、DRISSを使用したトンネル前方地質調査により掘削方法の検討を行った結果について報告するものである。

2. 朝町トンネル起点側掘削時の課題

(1)朝町トンネルの地質構成

朝町トンネルの起点側坑口部には領家花崗岩類の石英閃緑岩が分布し、起点側坑口斜面一帯には崩壊地形などは認められず安定した斜面を形成している。坑口部東側斜面はやや谷状地形を呈し、現況では流水などは認められないが、降雨時には流水や土砂の流出が想定された。

(2) 坑口位置の変更

起点側坑口部の置換工掘削に先立ち、切土面の抜根および整形作業を進めていたが、切土面の一部に小崩壊が発生した。(写真-1)そのため、未固結部分を掘削して、トンネル坑口を終点側へ5m移動した。



写真-1 坑口部崩落

また、起点側坑口付工の施工中に、坑口左側面部の法面にひび割れが発生し(写真-2)、支保工の上半左側足元に変位がみられた。対策として、吹付けコンクリートを増吹付し、注入式ロックボルトにて地山のゆるみ範囲の空隙充填とせん断補強を実施した。これらの事象から、本トンネルの地山は緩く、崩落が発生しやすいことが予想された。そのため注意深く掘削を進める必要があった。



写真-2 坑口部ひび割れ

3. トンネル切羽前方探査法DRISSの検討

(1) トンネル切羽前方探査法DRISSの検討

先述の通り、坑口掘削、坑口付工において崩落が続いた。当初掘削前に水平ボーリングを行ったところ地山が脆く、固結度の低い地質が続くと予測された。そのため、トンネル掘削を安全に行うにあたり前方地山の詳細な情報が必要であった。また供用を控えている現場であり、早急に後続工事への引き渡しが必要であったため出来るだけ掘削を止めずに前方探査を行っていく必要があった。その為、技術提案事項の1つであるDRISSを使用し、今後の掘削方法について検討を行う事とした。

(2) トンネル切羽前方探査法DRISSの概要

DRISSはトンネル切羽前方の地山性状を原位置で迅速かつ直接的に把握することを目的に油圧式削岩機の穿孔データを利用した切羽前方探査法であり、一般的に実施される“探り削孔”と同様の手法で行われ、穿孔作業時に削岩機から得られる各油圧データを自動測定し、これらのデータを基に穿孔した地山性状に対する定量的な推定・評価を行うものである。

従来、トンネルの前方探査の方法として水平ボーリングや探り穿孔等が用いられていた。しかし、コストが増加する、時間がかかる等のデメリットがあった。

対して、DRISSの利点としては、以下の点が挙げられる。

- ・トンネル作業員が作業を行うため、結果が現場にフィードバックされやすい
- ・既存の機械(ドリルジャンボ)を利用して計測するため作業効率が良く、工程に影響しにくい
- ・重機入れ替え等が少なくなるため、他の探査法に比べて坑内の安全を確保できる

これらの利点から坑内の安全の確保及び効率化を両立できる本探査法を適用することとした。

DRISSの施工の流れを下記①～③に示す。

①切羽へDRISS搭載のドリルジャンボをセットする。



写真3 ドリルジャンボへの機器設置及び計測画面

②先頭ロッド(3mが一般的)による穿孔を行い、得られたデータを記録する。1回当たりの探査深度は30mで、図-3に示す三箇所について実施する。また穿孔中は必要に応じてくり粉採取や穿孔水の色の観察を行う。

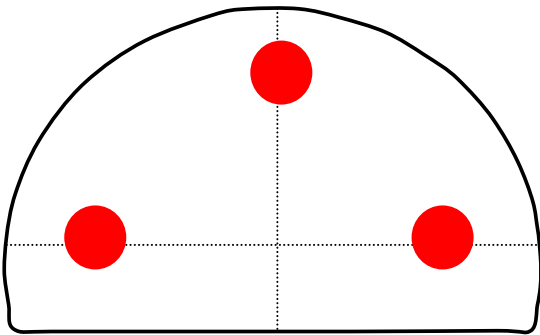


図-3 穿孔位置

③中継ロッドを継ぎ足して所定の探査長に達するまでデータの記録を繰り返す。

これらにより得られたデータを基に解析を行い、前方の地山の状態を把握する。解析には専用プログラムを用いて可視化し、地山の評価を行う。穿孔データの中から特に定量的な地山性状の評価が可能と考えられるパラメータとして下記項目が挙げられる。

①穿孔速度 (のみ下がり)

穿孔時にビットが進む速度であり、この速度が速いほどより脆弱層であると判断できる。

②穿孔エネルギー

単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要したエネルギー量を示し、より硬質な岩盤ほどより多くの穿孔エネルギーを必要とする。

③ダンピング圧(穿孔反力)

穿孔時に岩盤から削岩機に伝わる反力
この反力が小さいほどより脆弱層であると判断する

本トンネルでは主に地山評価実績が豊富な穿孔エネルギーを用いて地山の前方探査を行った。

(3) 本現場におけるDRISSによる評価方法及び補助工法の要否の検討について

前途の通り、DRISSによる探査結果より得られた前方の穿孔エネルギーについて図化する。実際には穿孔の際に出るくり粉及び穿孔水や他の探査法と併用し総合的に前方の地山の状態を判断する。

検討区間で得られた穿孔エネルギーとそれに対応する探査孔周辺の切羽評価点からDRISS評価を作成する。

以下に、『土木学会第58回年次学術講演会 穿孔探査システムによる支保パターン事前想定を試み』におけるDRISS評価基準例を示す。朝町トンネルは花崗閃緑岩であることから、表-1の地山分類の評価を適用する。

表-1 地山分類におけるDRISS評価基準例

岩種	地山分類	穿孔エネルギー (J/cm ³)
花崗閃緑岩	C I	550～
	C II	250～550
	D I	150～250
	D II	～150

さらに、『NPO法人臨床トンネル工学研究所 技術研究部会 トンネル補助工法委員会 平成20年～21年活動報告書p.38 表-4.2.1 探りノミ判断基準』による補助工法の要否の評価基準例を参考に補助工法の要否判断基準を表-2のように定め、それぞれの対応策を表-3のように定めた。

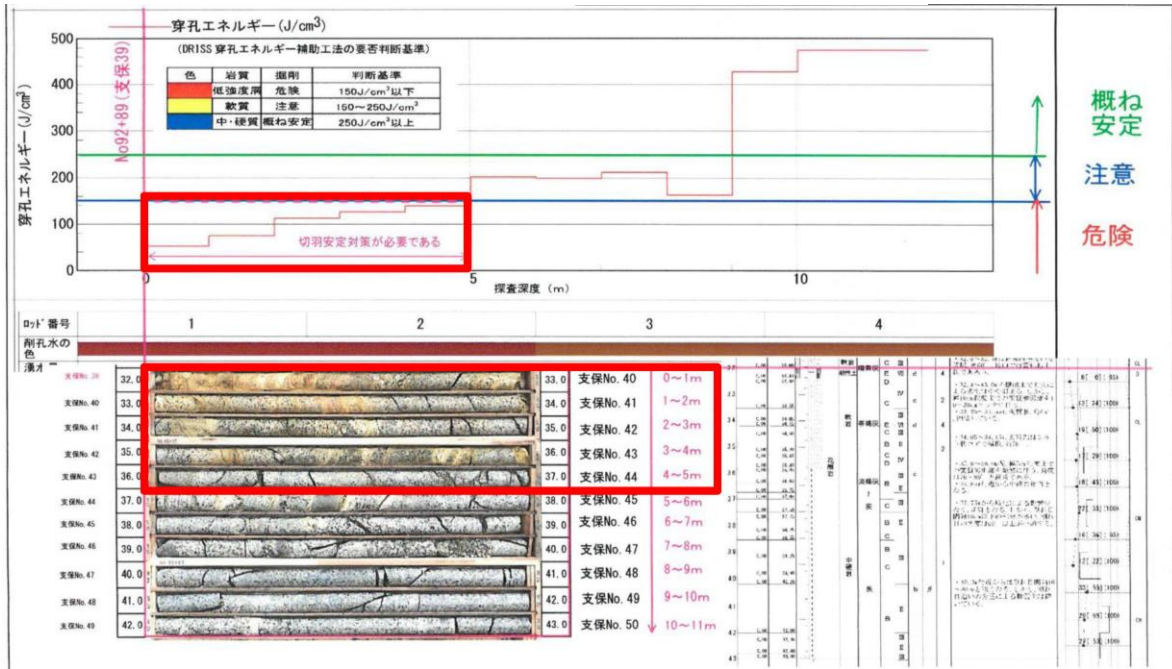
表-2 岩質におけるDRISS評価基準例

岩質	掘削	判断基準
低強度層	危険	150J/cm ³ 以下
軟質	注意	150～250J/cm ³
中・硬質	概ね安定	250J/cm ³ 以上

表-3 各評価レベルにおける対策検討例

掘削	性状	対策(案)
危険	切羽天端部と切羽鏡面の自立が困難であり、切羽天端部と鏡面の肌落ちと崩壊の可能性が高く注意が必要である。	①先受け工の準備 ②鏡面の補強対策の準備(資機材調達・協議施工計画の作成)
注意	切羽天端部の自立が困難であり、天端部からの肌落ちに注意が必要	①先受け工の準備(資材調達) ②鏡面の補強対策の検討
概ね安定	切羽はおおむね安定し、補助工法の必要がないと思われる。	-

表-4 水平ボーリングと DRISS での穿孔エネルギーとの比較



この判断基準が本現場について適用が可能かを事前に検討した結果を表-4に示す。水平コアボーリングの結果と比較し、補助工法の要否が判定できるかを事前に検討した。

穿孔エネルギーが150J/cm³以下の低強度層はコア写真より茶褐色の部分が該当する。岩種区分は「軟岩」評価ではあるが岩片強度が低く、掘削ブリは粉碎し土砂状になって現れた。またこの部分は穿孔エネルギーが低く、危険な状態でもある。これらのデータから水平ボーリングの結果と同様の結果がDRISSも示すことができ、

補助工法の要否判断基準を適用しても問題ないとされたことから本現場ではこの要否判断基準を採用した。

4. トンネル切羽前方探査法 DRISS の結果について

本トンネルは、図-4より、破碎帯のある①No.92+60~90, ④No.93+20~50, ⑤No.93+50~80, ⑦No.94+20~50の4箇所以外にも地質が悪いと予想されていたため、ほぼ全区間の合計8回、DRISSを実施した。今回は地山の状態の変化が著しかった第1回、第5回に着目した。

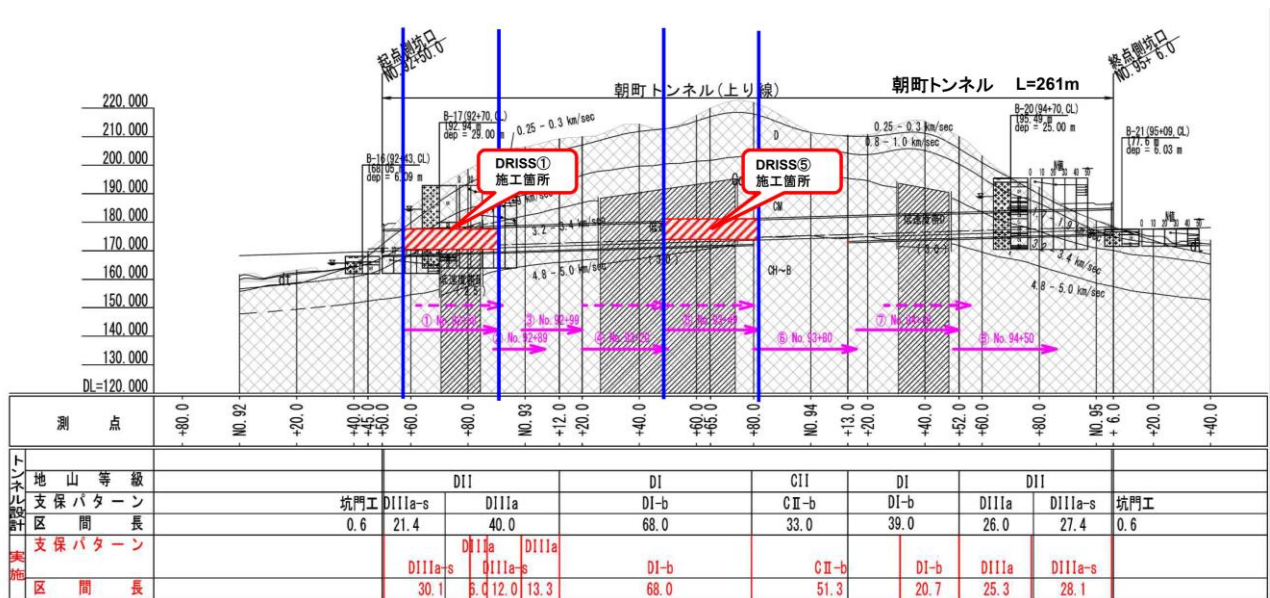


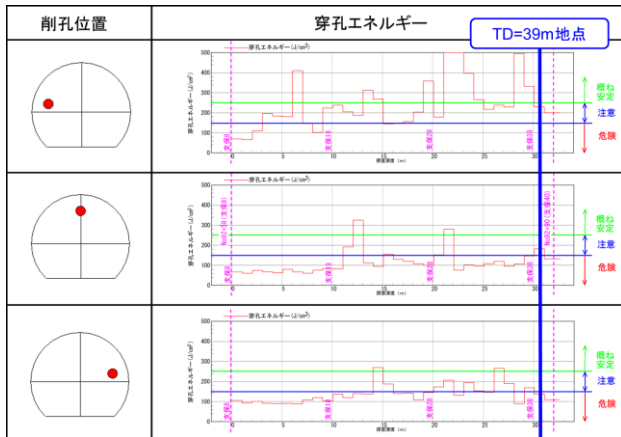
図-4 朝町トンネル地質縦断面図及び DRISS 実施範囲

(1) トンネル切羽前方探査法DRISSの解析

(a) 第1回 DRISS

トンネル天端が地山に達するのが掘削開始後8mのため、8m地点からDRISSを使用し、前方探査を行った。探査を行った結果、この地点は全体的に穿孔エネルギーが小さく、低強度層が続くと予測されたため、注意深く掘削を行う必要があった。1回目のDRISSを実施した結果を下記に示す(表-5)

表-5 第1回DRISS実施結果



ドリ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
削孔水の色				0						0	
濁水量 (L/100g)											
粒径											
大きさ (mm)				2~5						2~5	

表-5から全区間を通して穿孔エネルギーが150J/cm³以下の箇所が多く、さらに削孔水の色も濁っていることから破砕帯を通ってきた可能性があった。現在切羽に出現している低強度層が30m先まで続くと予想され、AGF工、鏡補強工が必要であると判断したため、注意深く掘削を行った。



写真-4 支保No.39での切羽崩落状況

しかし、写真-4のようにTD=39m付近で鏡面の崩落が発生するなど突発事項に見舞われたため、DRISSの予測精度の向上が必要となった。

(2) トンネル切羽前方探査法DRISSの

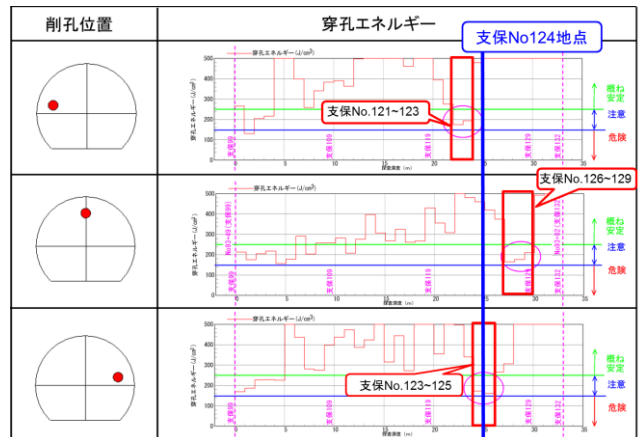
改善・予測

前回からの事例を踏まえてDRISSの穿孔エネルギーから判断して危険とされた区間では他の要素も正確に分析し、総合的に地山の評価をすることとした。そのため、危険と判断された区間についてはあらかじめ補助工法の材料手配をしておく、切羽観察を密に行う、他の探査法と比較検討し総合的に判断するなど工夫を行った。また削孔水を正確に評価するため動画撮影を行い、後の評価がしやすいよう配慮し、その後の検討を行った。

a) 第5回DRISS

表-6より支保No121~125区間の穿孔エネルギーが急激に落ちている。くり粉の状況は全体を通して5mm以下のものが大半で、支保No.121~129区間では黄土色の削孔水がみられた。これにより、粘土層が存在していると想定された。そのため、場合によっては補助工法の検討が必要な要注意箇所である

表-6 第5回 DRISS 実施結果



ドリ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
削孔水の色											
濁水量 (L/100g)											
粒径											
大きさ (mm)				1~5mm			1~5mm		1~5mm		1~5mm

実態として支保No124で切羽の天端崩落が発生したため、急遽補助工法の検討を行った。この区間では表-6より危険と判断されていることからDRISS、穿孔水、水平コアボーリングの結果から総合的に地山の状態を判断することとした。

水平ボーリングの結果では支保No125から硬岩という結果となっているが、調査位置が切羽中央位置のみのため、DRISSや穿孔水の評価を考慮して追加の補助工法の必要性を検討した。

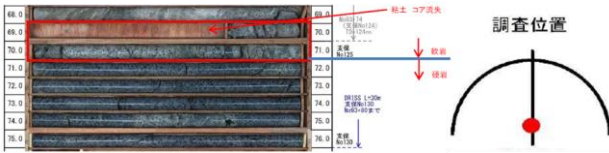


図-5 水平コアボーリング支保No.124-130

表-6から切羽天端位置では支保No126～129が、切羽左肩位置では支保No121～123が、右肩では支保No123～125において穿孔エネルギーが低下し、危険と判断されている。また支保No121～129区間の穿孔水が黄土色であることからこの区間は粘土層であることが考えられた。

天端部のDRISS評価から支保No129以降は穿孔エネルギーが高くなり、硬岩である可能性が高いことから補助工法の実施は支保No124～129の5m区間と判定し、判定結果から注入式フォアボーリング(L=3.0m)及び鏡補強工(L=4m, N=34本)を補助工法として選定し施工した。



写真-5 支保 No.125 の補助工法施工状況

またDRISSの検討結果から支保が進むにつれて右肩・左肩に切羽の硬岩領域が早く発現することが予測されたため不要と判断した場所については随時鏡補強工を実施しないなど臨機応変に対応することができた。

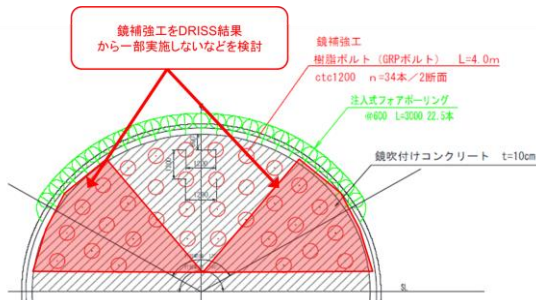


図-6 支保 No.124 での補助工法検討

5. 結果

従来の方法のみでは前方探査に時間がかかり、供用を控えた本工事において不利であった。しかし、DRISSを活用する事で低コストかつ前方探査の時間の短縮と安全性の確保を行う事が出来た。また事前探査から補助工法が必要であると予測された時点で材料をある程度用意しておくなど効率の良い段取りを行うことで掘削の停止を最小限にすることに寄与したと考えられる。またDRISSだけでなく削孔水等他の要素を総合的に分析する事でより正確な地山の評価を行う事が出来、結果、補助工法の必要箇所を予測することができた。当初は削孔水をみる役割の人間が判断し、それを元に解析を行っていたが、個人差が出やすく判断が偏る恐れがあった。動画を撮影することで地質の状態を担当者全員で共有し、意見を出し合って判断することで判断が偏りにくくよりの確な分析に繋がった。

6. 結論

本工事ではDRISSによる穿孔探査をトンネル全区間行ったが、現場条件によっては一概に地山の状態を把握することは困難であったため、他の探査方法と併用して取り組むことでより正確な前方探査結果が得られると考えられる。結果、切羽安定対策のための速やかな資材の調達、坑内作業員の安全確保、工程の短縮に寄与したと考えられる。

今回は施工期間が短く、かつ地山の状態が不安定な中で前方探査により予測をしながら注意深く掘削し、2016年12月8日に事故なく貫通することが出来た。また、翌年2017年3月25日には無事覆工も巻き終えた。最後に、本報告が今後の同種工事の参考となれば幸いである。

謝辞：本論文の作成にあたっては、大和御所道路朝町トンネル工事の受注者であるアイサワ工業(株)の皆様にはお忙しい中、資料の提供や助言など様々な面でご協力をいただきました。心から感謝します。本当にありがとうございました。

参考文献

- 1) 土木学会第58回年次学術講演会：穿孔探査システムによる支保パターン事前想定を試み
- 2) NPO法人臨床トンネル工学研究所技術研究部会トンネル補助工法委員会：平成20年～21年活動報告書