

蛇紋岩区間を有した山岳トンネル施工における BIM/CIMの適用

土佐国道事務所 工務課 坂口 功明
土佐国道事務所工務課長 宗光 太助
港湾空港部 港湾計画課 片岡 弘貴

近年、現場の安全性、効率性向上に向けて、土木工事のデジタル化に関する取り組みが行われている。山岳トンネル施工では水平ボーリングに関するBIM/CIM（Building / Construction Information Modeling, Management）技術が断層地帯にて用いられており、蛇紋岩区間における事例は限られている。本文では、蛇紋岩区間を有した山岳トンネル施工におけるBIM / CIMであるDRISS（Drilling Survey System）の活用を主目的とし、調査プロセスを検討した。その結果、DRISSは蛇紋岩区間において地山判定に用いることができることが示され、大きな切羽崩落もなくトンネル掘削を終えた。

キーワード 蛇紋岩、山岳トンネル、水平ボーリング、BIM / CIM、DRISS、DX

1. 背景

建設業界の人手不足、安全性確保の困難性等の課題を解決すべくDX化が進められている。国土交通省は2021年に「国土交通省DX推進本部」を立ち上げ、第1回会議を12月2日に開催した¹⁾。翌年にはインフラ分野のDXアクションプランを策定し、2022年をDXによる変革に取り組む「挑戦の年」と位置づけ、省横断的に取り組みを推進していくと公表した²⁾。プランのひとつにAI等活用による現場の安全性・効率性の向上を挙げており、自律施工に向けた研究開発の推進を計画している²⁾。

本文では、蛇紋岩区間を有した山岳トンネル施工におけるBIM / CIM（Building / Construction Information Modeling, Management）の活用を主目的とし、令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事にて用いた水平ボーリングに関するBIM / CIMであるDRISS（Drilling Survey System）の活用を評価した。令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事では地表面からのボーリング調査にて蛇紋岩が確認され、進行方向への連続性や出現位置は推定であった。蛇紋岩はマントルを構成するカンラン岩が加水高圧変成作用を受けて形成される岩石で、もろく崩れやすい性質を有している。2014年1月には北海道 音中トンネルの蛇紋岩区間の掘削中にトンネル内部を閉塞するほどの崩落が発生し、再掘削が行われた³⁾。トンネル施工では地山強度等に合わせて支保パターンを決定するため、事前に正確に把握することが作業の効率化につながる。BIM / CIMは工事箇所の測量、調査、設計、施

工、検査、維持管理、更新の各段階にて得られたデータを3次元モデルに取り込み、生産、管理システムの効率化を図るものと定義されている。トンネル施工のBIM / CIM活用では施工管理情報の蓄積、共有、施工検討への活用等が期待されており、地形、地質、土質モデル等を属性情報として作成する。トンネル施工の水平ボーリングに関するBIM / CIM技術としてDRISSが挙げられ、断層地帯の調査にて用いられてきたが、蛇紋岩区間に用いた事例は限られている。令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事を対象とし、DRISSの活用を評価した。

2. 概要

(1) 工事

工事の概要を表-1に示す。四国地方整備局土佐国道事務所が発注した令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事にて令和2年2月20日から令和5年2月28日まで西松建設株式会社がNATM工法を用いて施工を行った。位置

表-1 工事の概要

発注者	国土交通省 四国地方整備局
施工者	西松建設株式会社
事業	越知道路（2工区）
工事場所	高知県高岡郡越知町
工期	令和2年2月20日～令和5年2月28日
工事内容	トンネル延長L=962m
	NATM工法 内空断面積A=53.1m ²

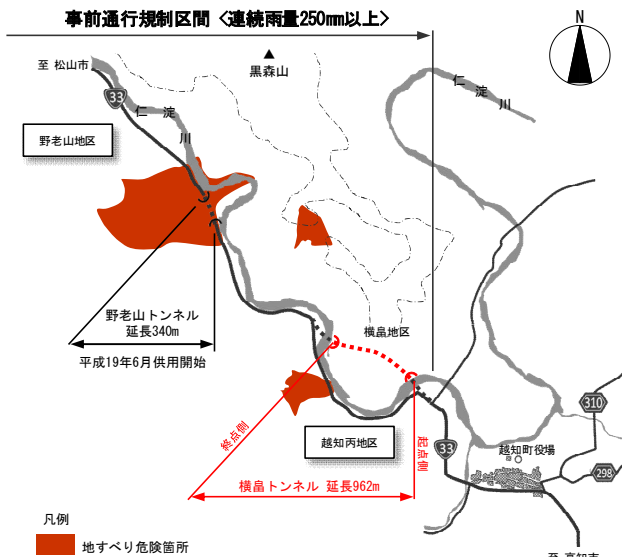


図-1 位置図

図を図-1に示す。越知道路（2工区）の事業であり、高知県高岡郡越知町の横島地区に位置したトンネル延長962 m、内空断面積53.1 m²のトンネルである。周辺には地すべり危険箇所があり、連続雨量250 mm以上で通行止めが実施される箇所である。

(2) 水平ボーリング

本施工前に坑口より水平ボーリングを蛇紋岩が出現すると想定される139 m付近まではノンコア方式のダウンザホールハンマ（φ116 mm）、以深をロータリーパーカッション式ワイヤライン(PS-WL)工法（以下、坑内水平ボーリングと記述）にて行った。PS-WL工法は全油圧式のドリルにコア採取機能を持たせたボーリングシステムである。回転打撃による削孔であり、脆弱層に対し安定した穿孔能力を示す工法である。坑内水平ボーリングの様子を図-2に示す。本工事ではこれに切羽前方探査（DRISS）を搭載し、掘削の進捗にあわせて調査した。



図-2 坑内水平ボーリングの様子

(3) 坑内水平ボーリングのフロー

坑内水平ボーリングのフローを図-3に示す。ドリルに接続したサンプラーを切羽から挿入し、掘削を行った。掘削が終了した後に、オーバーショットを挿入し、サンプラーを接続したのちに引き上げた。サンプラーからサンプルを取り出す作業を繰り返しコアを採取した。同時にDRISSの計測を行い、データを取得した。

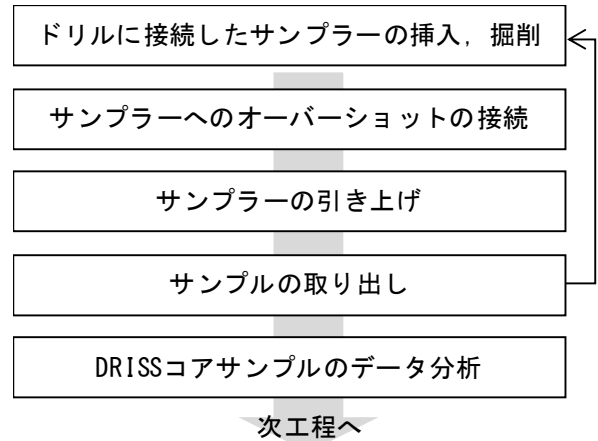


図-3 坑内水平ボーリングのフロー

(4) DRISS

DRISSとは、ドリルジャンボによる穿孔時に得られるフィード圧、打撃圧、回転圧等のデータと湧水量、色、くり粉の性状等の目視観察データを用いて、定量的に地山性状を判定する技術である。穿孔エネルギーは単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要した仕事量であり、(1a)にて求めた⁴⁾。DRISSは主に断層地帯の調査にて用いられるが、蛇紋岩区間に用いた事例は限られている。

$$SE = (E_i \times bpm \times T_{rod}) / (A_H \times V) \quad (1a)$$

E_i : 打撃後に発生したロッド中弾性波エネルギー (J)

bpm : 打撃数 (blows/min)

A_H : ビット断面積 (cm²)

V : 穿孔速度 (cm/min)

T_{rod} : ロッド伝播時のエネルギー伝達効率

(5) DRISS-3DとBIM / CIMの連携

DRISS-3Dは山岳トンネル掘削時の削孔データを用いた3次元地山評価システムである。ロックボルト孔や補助工法を施工する際にドリルジャンボから得られたデータとDRISS-3Dを搭載した調査ボーリングのデータを元に蛇紋岩の区間を3次元的に解析する。切羽から約70 m前方までの地質状況が予測可能である。本施工では30 m毎の坑内水平ボーリングを行い、地質状況をDRISS-3Dにより求めた約70 mのデータとDRISSにて求めた30 mのデータを併用して予測し、掘削を行った。

3. 結果

(1) 施工の評価

トンネルは令和4年5月18日に貫通し、翌年2月28日に完成した。坑内水平ボーリングで得られた蛇紋岩の地山試料分析等を基に支保パターンを事前に検討し、各種補助工法等を適切に実施することで、大きな切羽崩落もなくトンネル掘削を終えた。貫通式の様子を図-4に示す。貫通式には職員、施工業者等、約50人が参加した。施工箇所を含んだ越知道路(2工区)は同年6月10日に開通し、同日には開通式が行われた。



図-4 貫通式の様子

(2) 蛇紋岩区間のDRISS適用

蛇紋岩区間における坑内水平ボーリングの結果の一例を図-5に示す。坑口から157mの右中部の切羽から実施したDRISSで求めた穿孔エネルギーは探査深度が12mまでは平均250 J/cm³であり、12m以降は大半が100 J/cm³を下回った。100 J/cm³を下回った箇所は地盤が軟らかい区間であり、坑口から169~178mに脆弱な蛇紋岩層の存在が推察された。地山判定は穿孔エネルギーにより区分化し、色分けした。以上より、蛇紋岩区間でDRISSにて穿孔エネルギーを求められたことが示された。

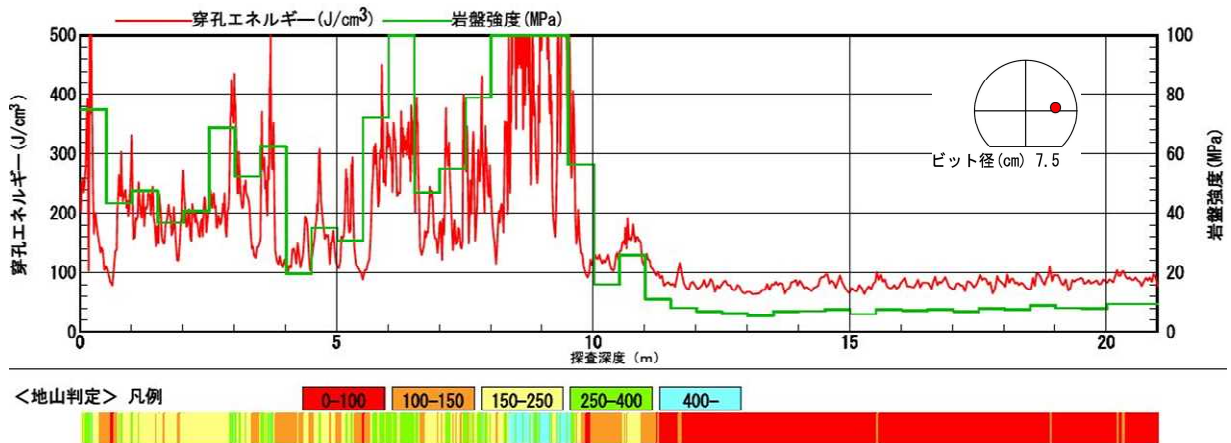


図-5 蛇紋岩区間における坑内水平ボーリングの結果の一例

(3) 採取したサンプル

坑口から157mの地点から採取したサンプルを図-6に示す。穿孔深度が157~169mでは大きく角張った粒子が多数であり、170m以降は粒子が急激に小さく、また白くなった。穿孔エネルギーが減少した深度と粒子の大きさが減少した深度は同様であり、169~170mから極めて脆弱な粘土状蛇紋岩の存在が示唆された。

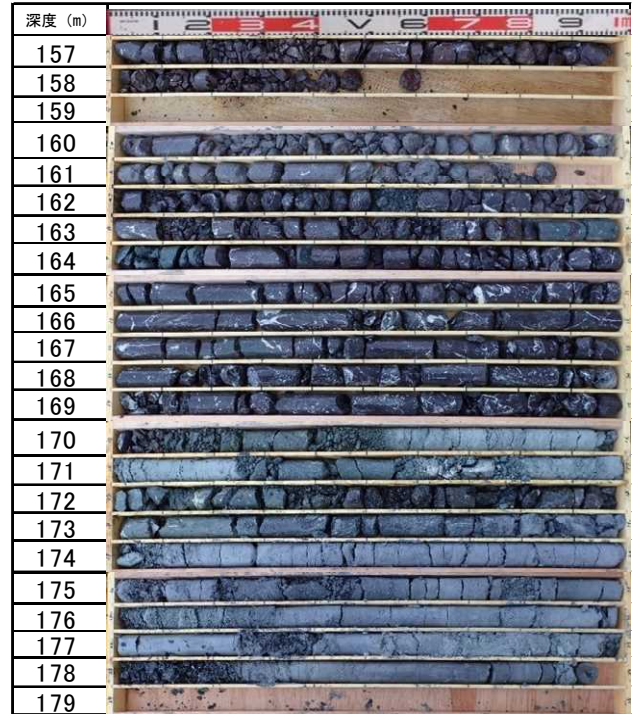


図-6 坑口から157mの地点から採取したサンプル

(4) BIM / CIMへのデータ

穿孔エネルギーを反映したBIM / CIMを図-7に示す。図-6にて求めた地山判定結果の色分け図をBIM / CIMに取り込み、見える化した。BIM / CIMは現場事務所に設けたモニターで常時確認できるよう投影され、作業員等に共有した。また、完成検査、住民説明にて用いられ、今後維持管理にも用いることが完成検査で説明された。

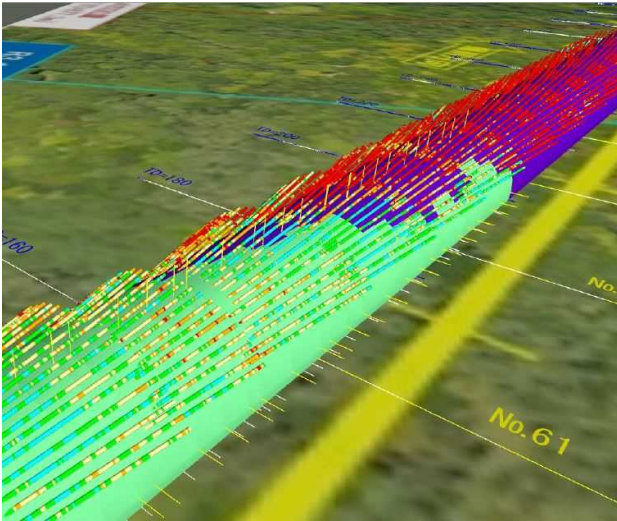


図-7 穿孔エネルギーを反映したBIM/CIM

(5) 施工業者が感じたBIM / CIM活用の効果

BIM / CIM活用の事例が増加している中、施工業者の活用に対する意見は不透明である。そのため、本工事の施工業者である西松建設株式会社に実際に感じたBIM / CIM活用の効果をうかがった。下記に効果を3つ記載する。

a) 施工管理の効率化

トンネル掘削中に実施した前方探査（DRISS）結果を3次元モデルへ取り込むことで、従来の地質縦断面・前方探査等の別々の帳票と比較する手順が簡略化された。また、BIM / CIMモデルを常時「見える化」することにより、地山情報や進捗状況の確認が容易となった。

b) 品質管理・安全管理の高度化

切羽観察や内空変位の記録、品質管理記録等を属性情報として一元管理することにより、必要な施工情報の検索が容易となるため、効率的かつ高度な品質管理を行うことができた。またBIM / CIMにより作成された地質モデルの分布を把握することで従来の設計図では予測出来ない施工リスクを回避し、安全性の向上が図れた。

c) 維持管理への活用

電子成果品のBIM / CIMモデルは施工時のデータを抽出することが可能であり、維持管理に必要なデータを活用することができる。

4. まとめ

本文では、令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事にて用いた水平ボーリングに関するBIM / CIMであるDRISSの活用を評価し、以下の知見を得た。

1) DRISSは通常用いられてきた断層地帯に加え、蛇

紋岩区間においても地山判定に用いることができた
と示された。

2) 水平ボーリングで得られた蛇紋岩の地山試料分析等を基に支保パターンを事前に検討し、各種補助工法等を適切に実施することで、大きな切羽崩落もなくトンネル掘削を終えた。

3) DRISSで求めた穿孔エネルギーは坑口から157～169 mでは250 J / cm³であり、169～178 mでは大半が100 J / cm³を下回った。また、157～170 mでは大きく角張った粒子が多数であり、170～180 mでは粒子が急激に小さく、白くなった。よって、穿孔エネルギーが減少し、粒子サイズが小さくなる169～170 mから極めて脆弱な粘土状蛇紋岩の存在が示唆された。

4) DRISSにて得た情報を反映したBIM / CIMは検査、住民説明において効率的に地山状況を説明できるコンテンツであることが示された。

5) 施工業者は施工管理の効率化、品質管理・安全管理の高度化、維持管理への活用の観点からBIM / CIMの効果を実感した。

本文では、令和元～3年度 越知道路新今成トンネル工事にて用いた水平ボーリングに関するBIM / CIMであるDRISSの活用した結果を示し、蛇紋岩区間における利用可能性を評価した。蛇紋岩区間のトンネル施工は過去にも再掘削が発生するなど安全性、効率性の面で課題が多く、BIM / CIMを用いて大きな切羽崩落もなく施工を終えたことは建設現場のDX化に寄与した事例であったことが示された。土佐国道事務所は施工現場のBIM / CIMの適用を継続して行い、技術の発展に貢献したいと考えている。

謝辞：本稿の作成にあたり、関係者の皆さまに多大なるご協力およびご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省，報道発表資料
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474379.pdf>
- 2) 国土交通省，技術調査，インフラ分野のDXアクションプラン
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474380.pdf>
- 3) 中村順一，島田武，大場北斗，一般国道40号 音威子府村 音中トンネル完成まで一難事に挑んだ12年の軌跡一，第65回北海道開発技術研究発表会論文，2022.2
- 4) 西松建設株式会社，削岩機を用いた切羽前方探査システム