

# 工業用内視鏡による切羽前方地山調査法 (DRi スコープ) の適用例

関根 一郎<sup>1\*</sup>・法橋 亮<sup>1</sup>・小林 由委<sup>1</sup>・石垣 和明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>戸田建設株式会社 (〒104-8388 東京都中央区京橋一丁目7-1)  
\*E-mail: ichiro.sekine@toda.co.jp

トンネルの切羽前方の地質を把握することは、安全性の向上、経済的なトンネル掘削のために重要であるが、十分な調査精度が得られない、トンネル掘削サイクルに与える影響が大きいなど、課題があった。そのため、切羽前方地山調査技術 (DRi スコープ) を開発し、トンネル現場に適用を重ねながら改良を図ってきた。ここでは、崖錐堆積物に適用した事例、トンネルのほぼ全線にわたって適用した事例を紹介し、その際、明らかになった課題に対する対策として、システムの改良についても報告する。

**Key Words :** survey method of tunnel face, industrial endoscope, DRi-scope, Drilling survey system

## 1. はじめに

トンネル切羽前方の調査では、工程に与える影響を最小限にしながら切羽前方の地質情報を精度よく把握することが重要である。岩種、風化度や割れ目等の地山情報を直接観察することは調査精度を高める上で効果的である。そのため、工業用内視鏡による切羽前方地山調査法 (DRi スコープ) を開発し、現場への適用を進めてきた<sup>1),2)</sup>。

この技術は油圧ジャンボのロッドの送水孔に工業用内視鏡を挿入し、ビットの前方の地山を直接観察する技術で、ロッドをケーシング代わりにするため、崩壊性地山でも観察することができる。本報告では崖錐堆積物に適用した事例、トンネルのほぼ全線に渡って適用し、地質の変化を観察した事例を紹介するとともに、工業用内視鏡の突出に適した専用ビットの開発など、システムの改良についても報告する。

## 2. 工業用内視鏡による切羽前方地山調査法 (DRi スコープ) の概要

DRi スコープの概要図を図-1 に示す。油圧ジャンボで削孔検層するとき継ぎノミをする際、ロッドをスリーブのところ切り離すので、その時点で工業用内視鏡を送水孔に挿入し、ビットから内視鏡の先端をわずかに突出させ、坑内の画像を取得する。本システムに適用する工業用内視鏡のケーブル延長は約 30mあり、27m程度の前方調査が可能である。

## 3. 適用事例

### (1) 適用事例1：上高地トンネル (長野県)

本トンネルは、既設水路トンネルと近接施工になるため、既設トンネル付近では特に慎重な施工が求

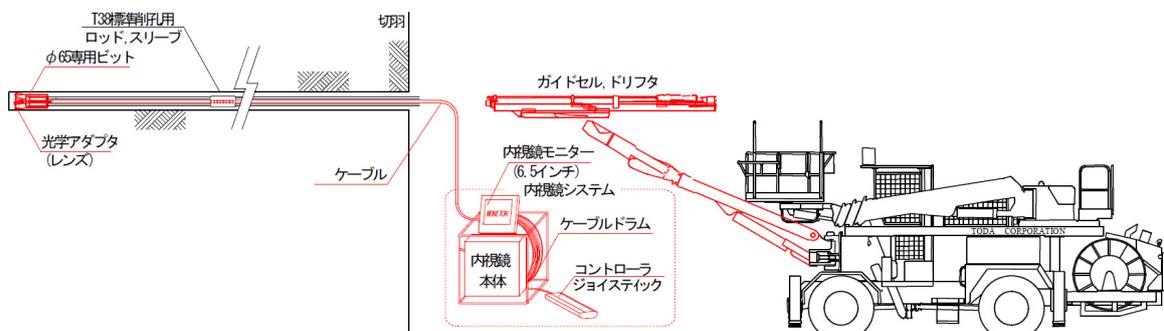


図-1 工業用内視鏡による切羽前方地山調査法 (DRi スコープ) の概要図

められた。また、本トンネルは急峻な山岳地域に位置するため、山の斜面には崖錐層が堆積している。崖錐層がどこまで連続するかも把握する必要があった。

DRiスコープによる孔内観察調査は既設トンネル近傍で実施した。孔内観察結果を図-2~4に示す。

図-2, 3の柱状図の①~③はそれぞれ図-4の孔内観察画像の取得位置と対応している。図-2の削孔距離9m付近まではアルコース質の崖錐層で、崩壊性で逸水が激しく、しばしば削孔不能になり、ロッドも拘束され回収不能状態になったが、ロッドの送水孔に内視鏡を挿入することにより、先端の動画を撮影す

												No.31+9	第1回目									
												測点										
												深 度										
												①		柱状図								
												泥質岩・玄武岩混在岩互層	泥質岩・玄武岩混在岩互層	アルコース質礫	アルコース質礫 (花崗岩転石?)	岩種区分						
												岩石表面は白、灰白(緑灰色)が多数	岩石表面は白、灰白(緑灰色)が多数	主として白色(長石、石英、雲母等)	主として白色(長石、石英、雲母等)	色 調						
												認識されず(未固結)	認識されず(未固結)	認識されず(未固結)	認識されず(未固結)	割れ目の状態						
												未固結(角礫化)	未固結(角礫化)	未固結(締まり悪い)	未固結(比較的締まっている)	風化・変質						
												DRiスコープL=12m	DRiスコープL=9m	DRiスコープL=6m	DRiスコープL=3m	ファイル番号						
												56秒	50秒	54秒	59秒	動画時間						
												-	-	-	-	引抜き速度						
												崩壊性地山のため、ビット先端のみ動画撮影。基盤となる泥質岩・玄武岩混在岩が角礫化したもの(岩石表面の白色部は炭酸塩化顕著な玄武岩)。				崩壊性地山のため、ビット先端のみ動画撮影。花崗岩系の地山ではなく、基盤(角礫化した泥質岩・玄武岩混在岩; 表面は炭酸塩化顕著な玄武岩)が出現。		崩壊性地山のため、ビット先端のみ動画撮影。石英主体(泥質岩片他)で構成される。締まりが悪く、花崗岩を後背地にもつ扇状地性堆積物と予想される。		崩壊性地山のため、ビット先端のみ動画撮影。比較的締まりが良く、花崗岩の転石をくり抜いたか、固結度良好な扇状地性堆積物と予想される。		記 事

図-2 DRiスコープによる孔内観察結果 (崖錐堆積物~泥質岩・玄武岩混在岩互層)

															No.30+18	第2回目												
															測点													
															深 度													
															③		②		柱状図									
															閃緑岩	泥質岩・玄武岩混在岩互層	閃緑化帯	削れ目	岩種区分									
															黒色	緑灰色	黒色	白色	黒色	白色	黒色	白色(炭酸塩化)	黒色(泥質岩優勢)	色 調				
															割れ目らしい割れ目はほとんど認識されない				局所で小規模な割れ目が認識される(深度1.19m, 1.68m, 2.50m, 3.38m)				割れ目の状態					
															基本的に新鮮岩。ただし、局所(深度3.4m, 4.4m, 5.1m, 7.8m, 10.2m, 10.6m付近)で、孔壁部が褐色風化している様子が観察できる。										風化・変質			
DRiスコープ⑥(+測点)		DRiスコープ⑤(+測点)		DRiスコープ④(+測点)		DRiスコープ③(+測点)		DRiスコープ②(+測点)		DRiスコープ①(+測点)						ファイル番号												
34秒	62秒	43秒	43秒	47秒	41秒	40秒	48秒	33秒	29秒	44秒	37秒	33秒	60秒	25秒		動画時間												
3.8cm/s	3.3cm/s	3.0cm/s	3.2cm/s	6.5cm/s	3.2cm/s	3.3cm/s	7.8cm/s	4.1cm/s	5.0cm/s	5.1cm/s	3.8cm/s	5.6cm/s	12.5cm/s	6.3cm/s	7.7cm/s	引抜き速度												
															白黒の斑模様	白黒の斑模様から、全体的な色調を緑灰色とする半深成岩状(粗粒の石英・斜長石結晶が目立つ)の岩石が出現。その特徴と既往調査結果に倣い、一括して閃緑岩とした(一部に、火山岩である安岩山も含む)。				割れ目のほとんど認められない泥質岩玄武岩互層。白黒の斑模様が地層判別のポイント。				白色に後退変質した玄武岩と泥質岩が混在し、顕著な斑模様を形成。変質による脆弱化は伴わず堅固である。		硬質な基盤岩。直前の切羽(No.31+2)で未固結土砂帯から岩盤に切り替わったことを確認。黒色部は泥質岩優勢部。白色部は炭酸塩による後退変質作用を伴った玄武岩(顕微鏡判定結果より)。		記 事

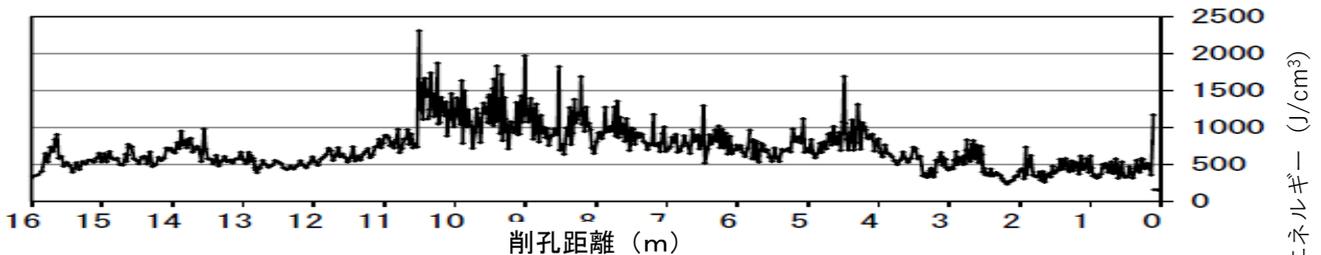
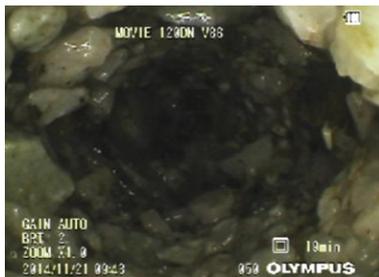


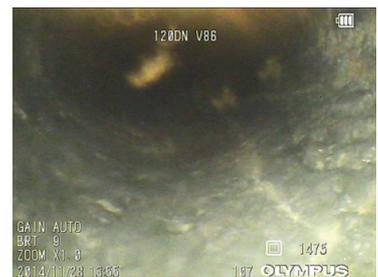
図-3 DRiスコープによる孔内観察と削孔検層結果 (泥質岩・玄武岩混在岩~閃緑岩)



①崖錐堆積物(アルコース質礫)



②泥質岩・玄武岩混在岩



③閃緑岩

図-4 DRiスコープによる孔内観察画像

ることができた。図-4①に示すようにバインダー分の極めて少ないアルコース質の崖錐堆積物であることを確認できた。

図-3は、DRiスコープの結果に削孔検層の結果を併記したもので、DRiスコープで得られた画像を図-4②、③に示した。穿孔エネルギーは10.5m付近から低下しており、DRiスコープの結果を見るとこの付近から閃緑岩に変化したことが分かる。割れ目が少なく安定した岩盤形状の閃緑岩に変わったことにより穿孔エネルギーが低下したと思われる。

図-5は実績地質縦断面図で、崖錐堆積物が長く連続したが既設水路トンネルの約7m手前で堅硬な岩に代わっていた。DRiスコープと削孔検層を併用し、掘削サイクルに与える影響を少なくして切羽前方地質の把握を行うことができた。

## (2) 適用事例2：祖山トンネル（長野県）

延長512mのトンネルのほぼ全線に渡って、DRiスコープを適用した事例を述べる。地質は新第三紀鮮新世～第四紀更新世の比較的堅硬な安山岩の上を低強度で塑性地圧が予想される凝灰角礫岩が不規則形状の不整合で覆うことからその分布の把握が課題となった。

図-6にDRiスコープの実施位置と地質実績縦断面図を示した。DRiスコープは一回当たりの削孔延長は

21～27m、2週間に2、3回の頻度で削孔検層と共にトンネル全線にわたって21回実施した。

本トンネルではルーチンワークで調査を行うために、一回当たりの施工手順を下記のとおりとした。

- ①切羽からロッド1本分3m弱の削孔検層を実施し5cm程度引き戻した状態でロッドとドリフターを切り離す。
- ②工業用内視鏡をロッドの送水孔に挿入し、ビットの送水孔からわずかに突出させる。
- ③孔底の静止画撮影後、ロッド、内視鏡を一体としてドリフターにより引き抜きながら動画撮影を行う。
- ④内視鏡を回収し、最後に距離等を記入した黒板を撮影し、記録する。

以上の作業をロッド一本ごとの繰り返した。なお、孔内が水没していると懸濁物が内視鏡の強力なレーザー光で光り観察不能になるので、削孔検層の際、上向きに角度をつけて削孔した。

図-7に地質変化位置（443基目からの19回目の削孔検層）での削孔検層結果と、DRiスコープの代表的な観察結果を示す。安山岩は穿孔エネルギーが300J/cm<sup>3</sup>以上、凝灰角礫岩は100J/cm<sup>3</sup>以下と削孔検層結果に差があり、DRiスコープの観察結果が不鮮明で明確に岩種区分ができない場合には、削孔検層結果が有効な指標となった。全調査延長において、穿孔エネルギー、DRiスコープ観察結果、掘削実績による地質境界は良い一致を示した。

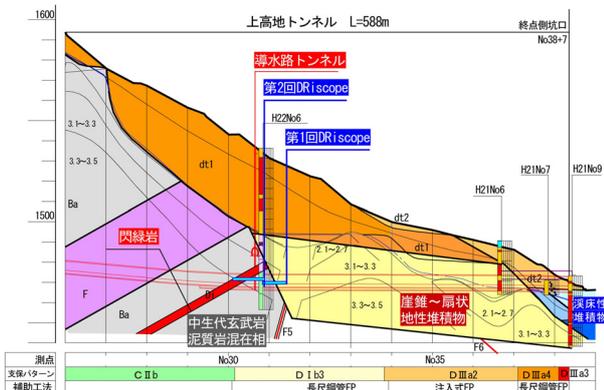


図-5 上高地トンネル地質実績縦断面図

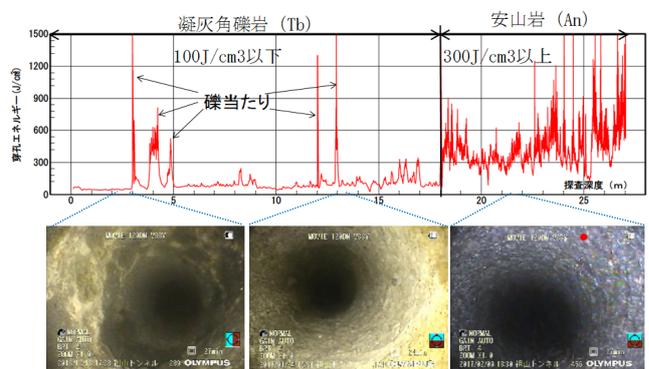


図-7 443基からの削孔検層結果とDRiスコープによって観察された画像

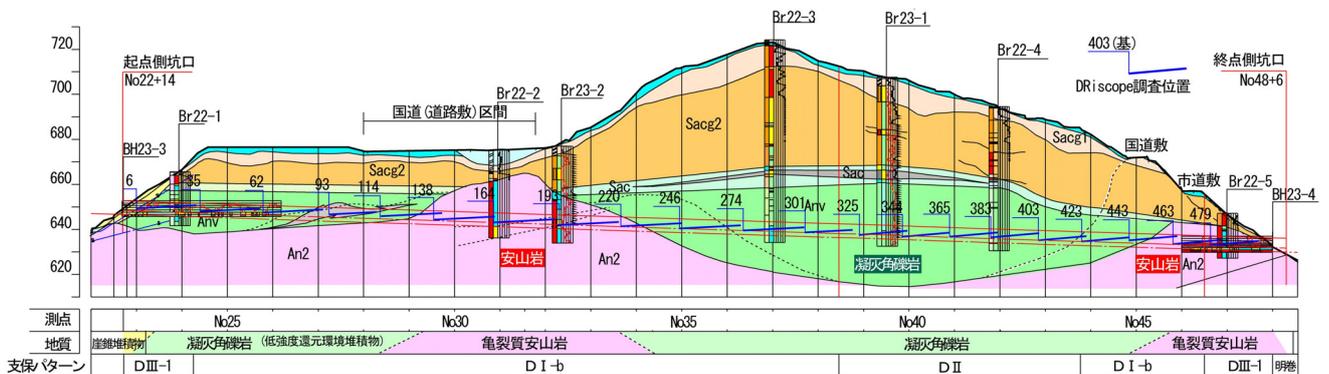
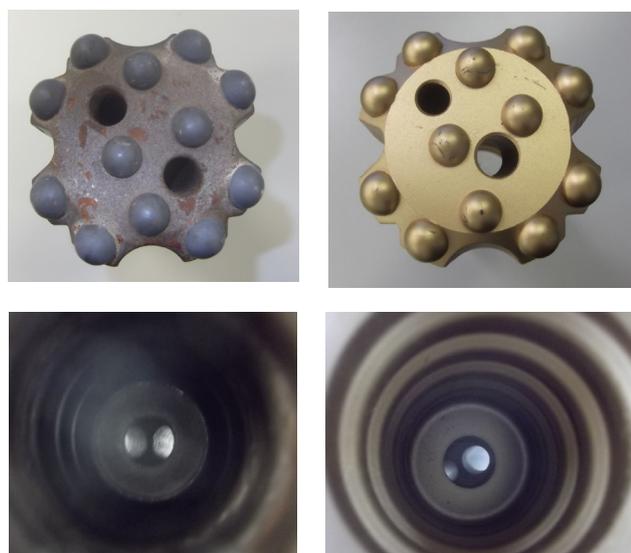


図-6 DRiスコープ実施位置と地質実績縦断面図（祖山トンネル）

#### 4. システムの改良

適用する中で運用上の課題も明らかになってきたので、システムの改良を行った。切羽での作業なので迅速さが求められるため、ロッドの牽引治具の改良、内視鏡の挿入補助装置の適用、専用ビットの開発を行った。ここでは専用ビットの開発について述べる<sup>3)</sup>。

写真-1は通常のビットと専用ビットをそれぞれ上段は正面から、下段はロッドの側から見た状況である。通常のビット（硬岩用中径サイズビット）は写真-1a)のように送水孔が二つに均等に分かれており、内視鏡は先端首振り機能があるのでこの部分を通過可能であるが、時間を要した。専用ビットは図-8のように片側の送水孔の径を大きくし、中心近くに設定した。これにより写真-1b)のように内視鏡が通過しやすくなり、首振り機能を使わなくても容易に通過するようになり、調査時間を通過1回当たり30～90秒、削孔長27mの調査に対して5～10分程度短縮できた。



a) 通常のビット

b) 専用ビット

写真-1 通常のビットと専用ビット

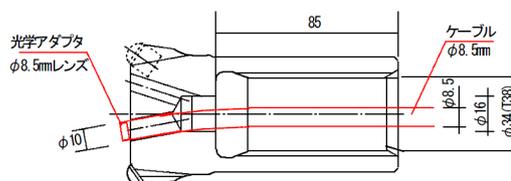


図-8 専用ビット概要図

#### 5. まとめ

工業用内視鏡による切羽前方地山調査法(DRiスコープ)の適用例を述べ、システムの改良について紹介した。この調査手法は、精度の高い切羽前方の地質情報が得られるので、適用例1,2に示したように掘削工事の参考になる分解能を有する情報が得られる。削孔検層と併用して実施するため、迅速な実施が求められ、運用上の課題を改善しながら適用を進めている。引き続き適用例を増やして、簡易に適用できる切羽前方調査手法として完成度を高めていきたいと考える。

**謝辞：**本技術の適用に当たり、発注者である長野県松本建設事務所、長野建設事務所の皆様、作業所の皆様に大変お世話になりました。ここに深く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 法橋亮, 関根一郎, 小林由委, 石垣和明: 工業用内視鏡を利用した新たな切羽前方地山調査手法の開発, 第44回岩盤力学に関するシンポジウム, 2016
- 2) 法橋亮, 関根一郎, 石垣和明, 奥村正樹: DRiスコープによるトンネル切羽前方地山調査の適用, 土木学会第72回年次学術講演会, III部門, 2017
- 3) Ichiro Sekine, Yoshitsugu Kobayashi, Kazuaki Ishigaki, Ryo Hohashi and Yasuo Hirata: Development of visualizing survey technology using “DRi-Scope” industrial endoscope to observe natural ground ahead of tunnel face, *International Journal of the JSRM*, Volume 14, Number 1, pp. 9-10, 2018,

### APPLICATION EXAMPLE OF VISUALIZING SURVEY TECHNOLOGY USING “DRi-Scope” INDUSTRIAL ENDSCOPE TO OBSERVE NATURAL GROUND AHEAD OF TUNNEL FACE

Ichiro SEKINE, Ryo HOHASHI, Yoshitsugu KOBAYASHI and Kazuaki ISHIGAKI

It's important to grasp the geological feature in front of the tunnel face for improvement of safety and economical tunnel excavation. However, there was a problem that the enough investigation precision isn't obtained for an investigation in front of the tunnel face, and the influence with the tunnel excavation cycle was big. We have developed a new technology for surveying natural ground ahead of a tunnel face. The technique, called “DRi-Scope,” visualizes the state of ground forward of a tunnel face using an industrial endoscope. This paper provides an outline of the technology and describes its features. It then introduces application examples for visualization of natural ground ahead of tunnel faces.