

大沼トンネル避難坑の施工状況報告について

函館開発建設部 函館道路事務所 第3工務課 ○鹿嶋 辰紀
 函館開発建設部 函館道路事務所 第3工務課 古市 圭典
 大林・岩田地崎・森川特定建設工事共同企業体 岡崎 雄一

北海道縦貫自動車道七飯～大沼は、延長10.0km高速自動車国道であり、この内の約7kmがトンネルとなっている。大沼トンネル（仮称）は延長約7kmの長大トンネルのため避難坑の設置が計画されている。避難坑は、本坑施工に向けた地質データの収集や水抜き効果を目的に本坑に先立ち施工を行っている。本論では、ボーリング調査等の地質調査を踏まえて、現在の避難坑の施工状況と今後の課題について報告する。

キーワード：トンネル、地質調査、ボーリング

1. まえがき

北海道縦貫自動車道 七飯～大沼は、高速ネットワーク拡充による道央圏と道南圏の連絡機能の強化を図り、地域間交流の活性化および重要港湾函館港、拠点空港函館空港等への物流効率化等の支援を目的とした、七飯IC（仮称）から大沼公園ICまでの約10kmの新直轄方式による事業である。大沼トンネル（仮称）は全長約7kmであり、国土交通省北海道開発局では初となる避難坑を有する長大トンネルである。北海道縦貫自動車道 七飯町大沼トンネル避難坑西大沼工区工事は、避難坑全長7,041.8mのうち、終点側（札幌市側）2,827.0mを新設する工事である。現場位置図を図-1に示す。現場付近には大沼、小沼、じゅんさい沼をはじめとする大小の沼があり、坑口北東部には駒ヶ岳が存在する。現場周辺は国定公園に指定されている。

本稿では、TD=1,300m付近で想定されている木地挽山断層北翼の詳細な性状を把握するために実施した調査工と、2019年11月25日(掘進延長：TD=1,397m)時点で実施している対策工の内容および効果について報告する。

2. 工事概要

(1) 工事概要

現工事概要を表-1に示す。本トンネル（避難坑）は、本坑とは別発注になっており、先行して避難坑の掘削を行うことで、①水抜き効果、②地質情報の把握、③本坑施工の補助（補助工法、作業坑）といった、本坑掘削のためのパイロットトンネルとしての役割を担っている。

(2) 地形・地質概要

地質縦断図を図-2に示す。本トンネルが通過する地山は、



図-1 現場位置図

新第三紀の峠下火山砕屑岩類が分布している。峠下火山砕屑岩類は、広く熱水変質作用を受けており、粘土化や珪化を被った脆弱な地質であることが予想されている。

土被りは最大で350mと大きく、トンネルルート付近では、下位に酸性変質を伴う変質岩が、上位に非変質岩が分布し、これらの境界 (TD=1,300m) に木地挽山断層北翼が位置している。

また、大沼トンネル周辺を含む亀田半島西部には、第四紀初頭の溶岩縁辺に硫黄・硫化鉄鉱床が分布しており、この鉱化作用を受けた地山は、長期間にわたる酸性水の発生や重金属の含有・溶出といった特性を持っている。

トンネルの縦断勾配については、周辺水環境への影響を最小限に抑えるために、木地挽山断層北翼までを3%の上り勾配、以降を2%の下り勾配とし、終点側(工事起点側)にあるじゅんさい沼に酸性水を流さない縦断勾配となっている。

3. 木地挽山断層北翼の調査

既往の地質調査の結果、本工区ではTD=1,300m地点に木地挽山断層北翼が位置していることが予想されており、断層破碎帯通過時に突発的な湧水および湧水圧による切羽崩壊が生じる恐れがある。しかしながら、断層破碎帯の傾斜や厚さに関しては、地表面踏査と電気探査等の結果から推定したものであり、地下のトンネル付近での位置や性状、地下水の状況については直接確認されていない状況であった。

そこで、木地挽山断層北翼およびその周辺の地下水の状況を、トンネル切羽が断層に到達する前に把握することを目的に次の調査を実施した。

表-1 工事概要

工事名称	北海道縦貫自動車道 七飯町 大沼トンネル避難坑 西大沼工区工事
発注者	国土交通省 北海道開発局 函館開発建設部
施工者	大林・岩田地崎・森川JV
施工場所	北海道亀田郡七飯町
工期	2018年1月24日～2021年4月30日
工事内容	道路トンネル(避難坑)
主要工種	トンネル工(小断面NATM)
数量	掘削延長 L=2,827.0m(2020.2現在契約延長) 掘削断面積 標準部: 20m ² 連絡坑取合部: 40m ²

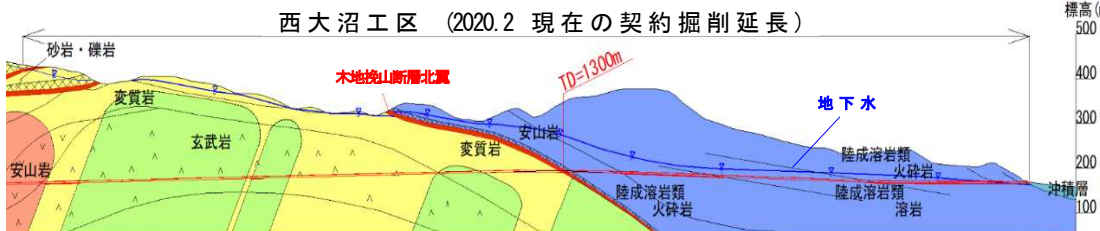


図-2 地質縦断図

(1) 地表面鉛直ボーリング、比抵抗二次元探査

既往調査で想定されている断層破碎帯が、実際にどの位置、傾斜、厚さでトンネルと交差しているかを事前に把握することは円滑に工事を進めるうえで重要である。そこで、図-3に示す位置にトンネル掘削と並行して地表面からの鉛直ボーリングと電気探査(比抵抗二次元探査)を行い、断層破碎帯付近の地下水の帯水状況も含めた地質状況を把握する。

電気探査の測線は、地質構造の傾斜方向を明瞭に捉えるために木地挽山断層北翼の走向と直行する方向(北東-南西)とし、電気探査から得られた比抵抗構造とボーリングから得られた地質状況を対比できるように、ボーリング孔を通過するように設定した。

4. 調査結果

(1) 地表面鉛直ボーリング

ボーリングの結果を図-4に示す。削孔延長は175mで、トンネルFHは114mに位置する。なお、既往調査で浅部に非変質の安山岩(An)、深部に変質岩(Ar)が出現し、木地挽山断層北翼はこれらの境界付近に10m程度の厚さで出現することが予想されていた。

ボーリングコアから、当初予定していた安山岩と変質岩が確認されたが、主要な破碎帯は集中しては出現せず、50m程度(深度63m～115m)の厚さをもって分散して分布していることが確認された(本稿ではこの区間を「破碎ゾーン」と呼ぶ)。破碎ゾーンは①～③の3つの



図-3 鉛直ボーリング、比抵抗二次元探査位置図

変質区分凡例		
変質作用	変質区分	地質区分
酸性熱水による変質	強酸性帯	変質岩
		デイサイト
		安山岩
	弱酸性帯	変質岩
		砂岩・礫岩
		安山岩
中性帯	変質岩	
	デイサイト	
	安山岩	
非変質	変質岩	
	デイサイト	
	安山岩	

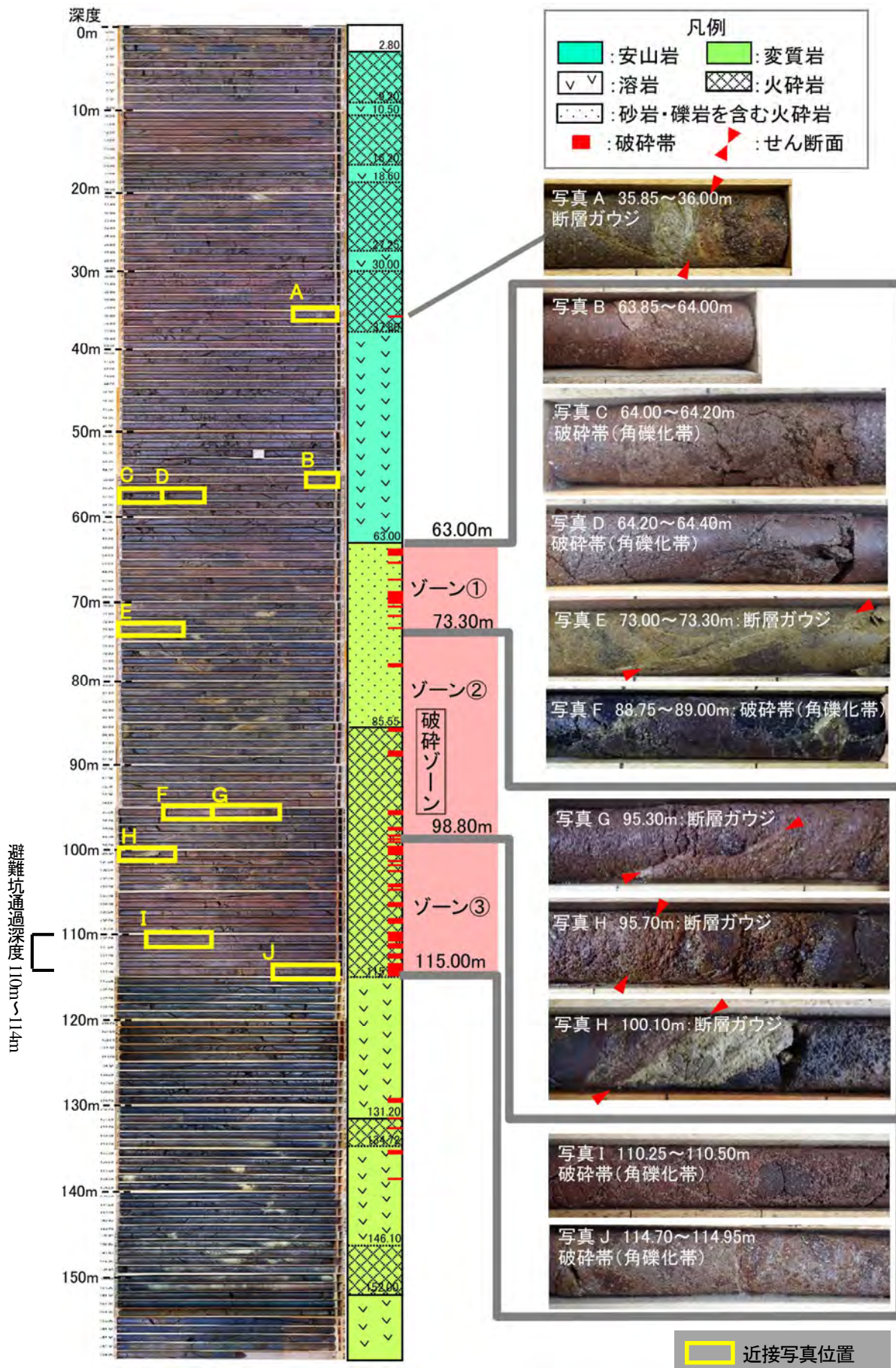


図-4 ボーリングコア写真 (破砕ゾーン拡大)

区間に大まかに分けられ、①と③は角礫化部が大部分を占めており、中央の②は破碎が最も強く断層ガウジが発達していた。

また、破碎ゾーン以深の変質岩は、粘土化した変質部と固い非変質部が繰り返し出現するが、変質の程度は小さく、本ボーリングの区間では酸性水や重金属を有する地質は確認されなかった。

(2) 比抵抗二次元探査

比抵抗二次元探査により得られた比抵抗断面を図-5に示す。大局的には南西側に低比抵抗体、北東側に高比抵抗体があり、その境界は横川がある谷から東側約300m付近にトンネル坑口側（北東側）に傾斜する急変帯をなす。急変帯は基盤地質の非変質と変質の境界を捉えたものと考えられ、既往の地質調査において非変質と変質の境界付近に断層破碎帯が位置する地質特性を持っているという報告がされていることから、この比抵抗分布が断

層の構造を示していると考えられる。

(3) トンネル周辺の木地挽山断層北翼の性状

鉛直ボーリングと比抵抗二次元探査の結果から推定される地質縦断を図-6に示す。なお、図に示されている比抵抗図は、既往の比抵抗二次元探査結果を踏まえて作成したトンネル周辺の比抵抗三次元モデルを、トンネル線形位置の比抵抗縦断図として示したものである。図より、木地挽山断層北翼の位置は想定よりも約220m工事終点側(TD=1,540m)に位置していることが分かった。また、トンネル位置付近では、既往調査で想定されていた10m程度の厚い断層ガウジが連続して分布するのではなく、50m程度の範囲で小断層や割れ目の多い幅広い破碎ゾーンを形成しており、木地挽山断層の北方端部としてのプロセスゾーン¹⁾に相当していると推定した(図-7)。酸性水や自然由来の有害物質に関わるリスクが高い酸性変質を伴う変質岩については、トンネル切羽では木地挽

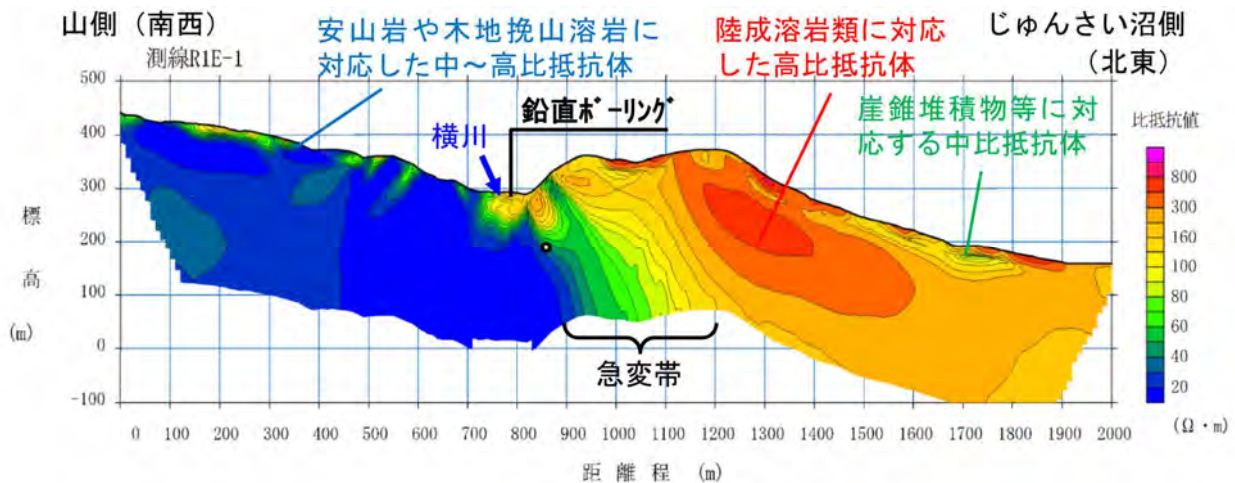


図-5 比抵抗二次元探査による比抵抗断面図

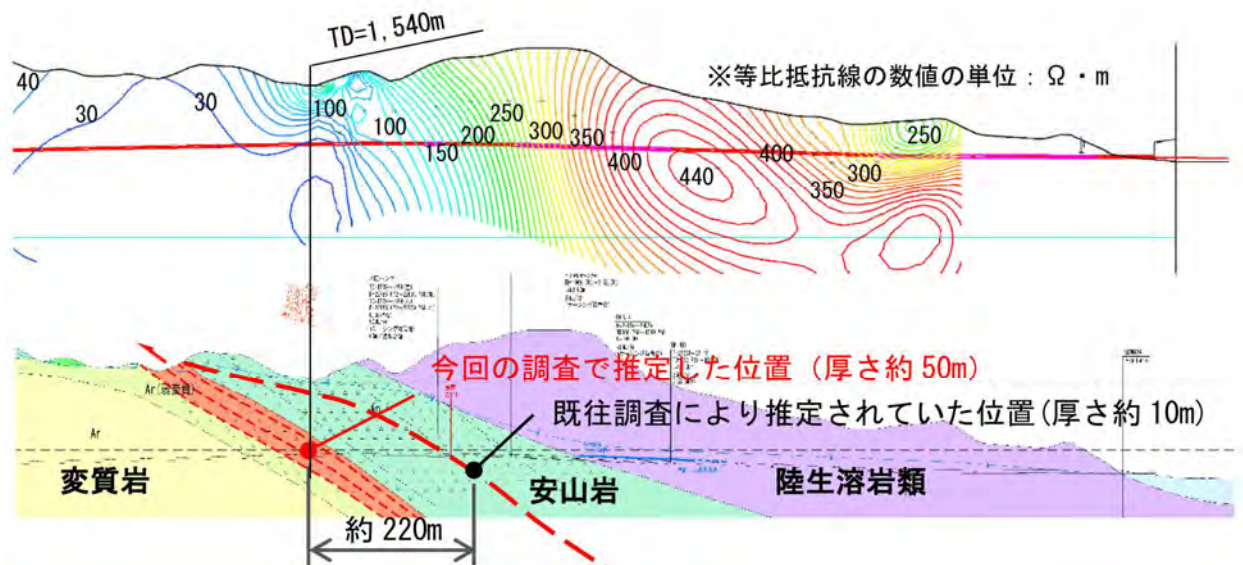


図-6 避難坑縦断位置での推定比抵抗断面図 (上) と地質縦断図 (下)

山断層北翼通過直後に出現するのではなく、50m以上の厚さをもった弱変質の変質岩以降で出現することが想定される。変質岩の詳細な位置および変質状況については今後、坑内からの水平コアボーリングや後述する切羽前方探査を併用しながら調査していく予定である。

5. トンネル内での調査・対策工

木地挽山断層北翼の位置および性状については明らかになったが、地下水位については既往調査の通り高く（鉛直ボーリング実施位置でトンネルFLでの水頭：約100m、湧水圧：1.0MPa）、木地挽山断層北翼通過時または以降の区間で突発的な湧水および湧水圧による切羽崩壊が生じる恐れがある。そこで、以下の調査・対策を実施した。

(1) 水圧ハンマー前方探査

坑内からの水平コアボーリングは切羽前方の探査に有用であるものの施工時にトンネル掘削を数日間中断する必要があり、くわえて、湧水や地山の変質・変状の程度によっては円滑な削孔が難しく、時間的なロスが発生することが予想される。そこで、ダウンザホール式（先端打撃式）の削孔機を用いることで、削孔延長150m程度の高速長距離削孔を行い切羽前方の水抜きを行うと同時に

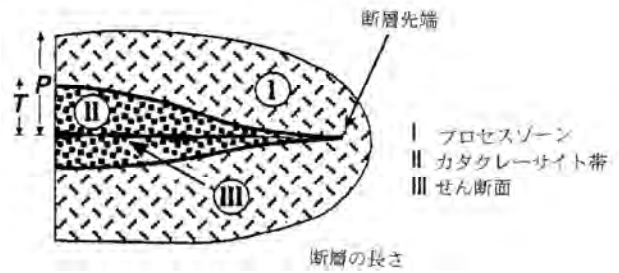


図-7 プロセスゾーンの模式図



写真-1 水圧ハンマー削孔機

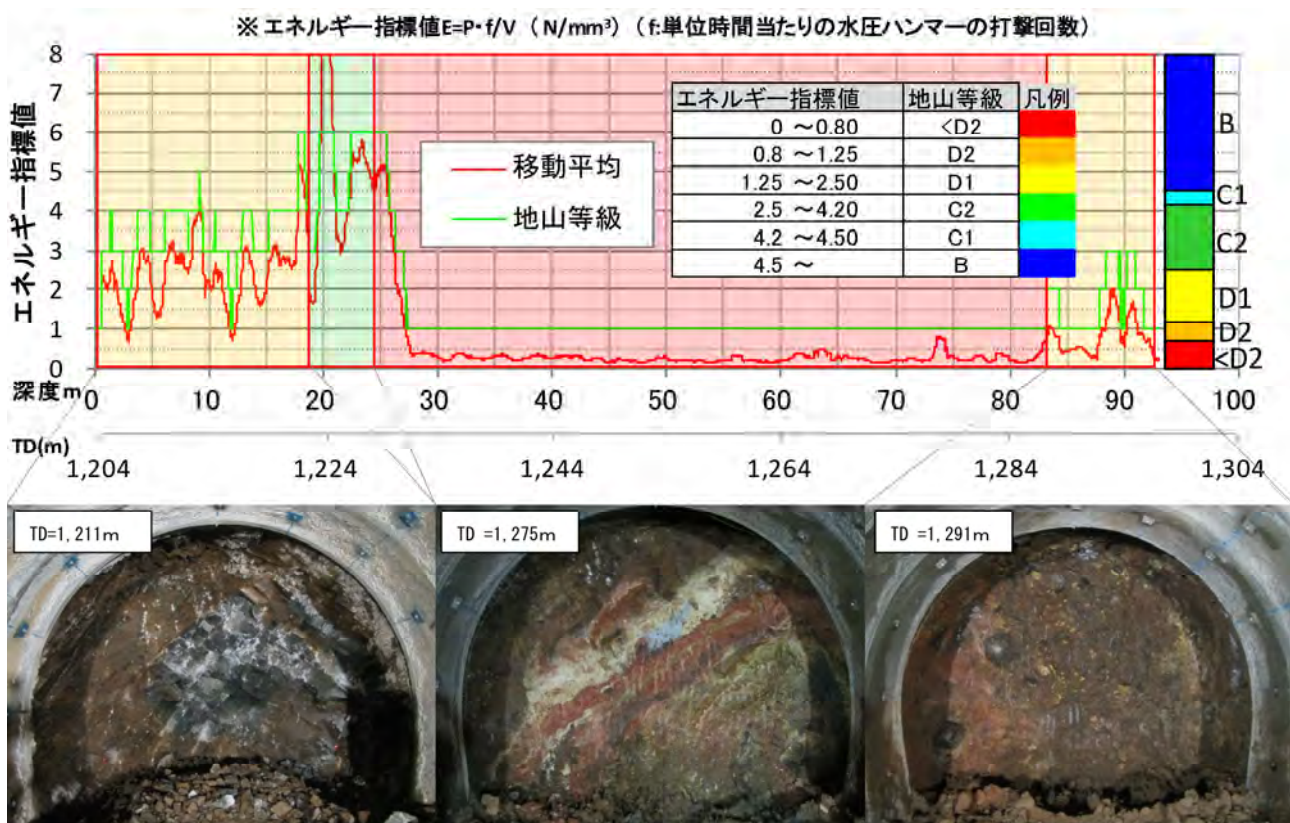


図-8 水圧ハンマーによる地山評価と実際の地山（切羽）の比較

表-2 水平コアボーリングと水圧ハンマーの実績比較

項目	実施回数	施工開始日	施工日数 (日)	削孔位置 TD (m)	削孔延長 (m)	湧水量 (L/min)	備考
水平 コアボーリング	15	2019年8月10日	3.0	1053	100	378	左側1本
	16	2019年9月13日	3.0	1168	36	107	左側1本
	17	2019年10月18日	3.0	1259	51	7.8	左側1本
	18	2019年11月15日	3.0	1367	78	28	左側1本
水圧ハンマー	1	2019年8月30日	1.5	1116	125	600	右側1本
	2	2019年10月3日	1.5	1204	93	386	右側1本
	3	2019年11月1日	1.5	1309	左 150 右 75	左 529 右 632	左右2本

に、削孔時に得られたデータから独自に算出したエネルギー指標値E(=送水圧P×打撃数f÷削孔速度V)で断層破碎帯出現位置と幅等も含めた地山状況を定量的に把握した²⁾。なお、写真-1にあるように、ボーリング孔から多量湧水が出ることを想定し、削孔位置は拡幅区間を設けて切羽断面外から打設した。

平コアボーリングと比較して多量湧水があっても長距離の削孔を可能としているため、水平コアボーリングよりも多量の水抜きを可能としている。また、図-8の切羽写真からも確認できる通り、断面外から水抜きを実施していることで切羽に多量の水が回ることを防いでおり、施工性・安全性の面でも非常に効果的であることを確認した。

6. トンネル内での調査・対策工の効果

2019年11月25日(掘進延長:TD=1,397m)時点での調査結果及び対策工の効果について報告する。

(1) 水圧ハンマー前方探査

TD=1,116mから100m毎に水圧ハンマーを実施しているが、準備～削孔(左右1本ずつ:計2本)～片付までを、3方という短時間で実施できており、掘削作業に大きな影響を与えることなく施工を進めることができています。エネルギー指標値による切羽前方探査の結果と実際の地山(切羽)を比較したものを図-8に示す。なお、エネルギー指標値は小さくなる程地山等級は低くなる。図より、全体的に精度よく地山の評価ができており、本トンネルの地山においても適用可能であることを確認した。ノンコア削孔の特徴として、実際の地山の確認はスライムでしか行えないことや、粘土系の微粒分の有無は削孔水により流出するため判断が難しいといったことが挙げられるが、今後孔内カメラを併用することで、亀裂や湧水発生位置などを詳細に把握し、地山評価の精度をさらに向上させる予定である。

コアボーリングと水圧ハンマーの実績の比較を表-2に示す。水圧ハンマーでは左右合わせて最大で116L/min(≒70th)の湧水を確認した。水圧ハンマーは水

7. まとめ

木地挽山断層北翼の詳細な位置および性状を把握するために、鉛直ボーリングおよび比抵抗二次元探査を実施し、木地挽山断層北翼は想定よりも220m程度工事終点側に位置し、50m程度厚さで小断層や割れ目の多い幅広い破碎ゾーンを形成していることが明らかになった。

また、トンネル坑内からの対策工として水圧ハンマーを実施し、短時間で効率よく水抜きを実施しつつ、エネルギー指標値により前方探査の手法としても適用可能であることから、突発的な多量湧水に対して施工性や安全性の向上に寄与することを確認した。

参考文献

- 1) 金折裕司:断層の影響はどこまで及んでいるか、一般社団法人 応用地質, 応用地質, 第41巻, 第6号, 323-332頁, 2001.
- 2) 磐田吾郎, 天野悟, 桑原徹, 木梨秀雄:高速ノンコア削孔システムによる切羽前方探査技術の開発, 土木学会, トンネル工学報告集第24巻, 2014