

小断面トンネルにおける多量の被圧湧水を有する断層破碎帯の施工

大成建設(株) 正会員 ○肥後 宏紀, 近藤 正隆, 吉岡 南, 平塚 裕介
国土交通省北海道開発局 函館開発建設部 近藤 優

1. はじめに

北海道縦貫自動車道七飯～大沼に建設中の大沼トンネル（仮称）は、全長 7,041.8m の山岳トンネルである。本坑に先立って避難坑の掘削が進められており、本工事では起点側（峠下工区）の全長 3,614.0m を施工している。本稿では、多量の被圧湧水を有する断層破碎帯（以下、破碎帯）の施工で実施した切羽前方調査ボーリングおよび切羽安定対策と管理手法について報告する。

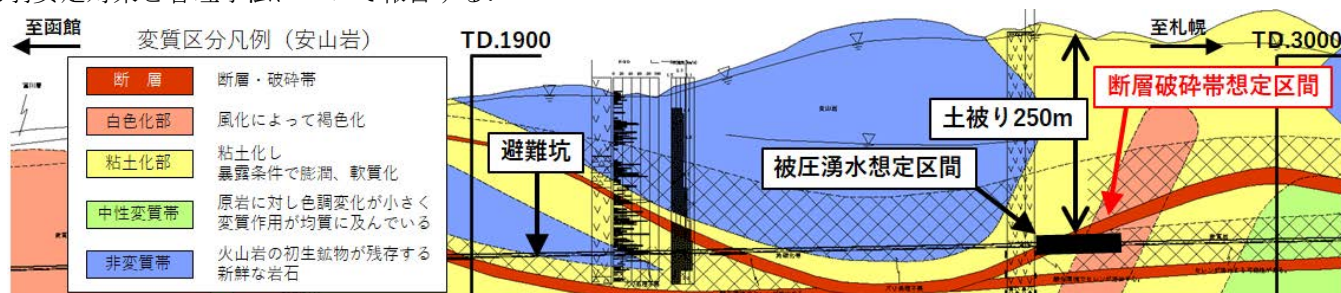


図-1 大沼トンネル避難坑の地質縦断図 (TD. 1900～3000m を表示)

2. 地形・地質・避難坑概要

本避難坑は、掘削断面が約 20m² の小断面トンネルであり、ずり・資機材等の運搬にはレール方式を採用した。地質は安山岩主体で、火山活動に伴う熱水変質作用を受け、粘土化部や破碎帯の存在が想定された (図-1)。そのため、トンネル掘削時に強大な地圧作用や高圧・大量湧水の発生が懸念された。支保パターンは主に D パターン (鋼製支保工 NH-100, 吹付厚 $t=100\text{mm}$ -18N/mm², ロックボルト $L=2000\text{mm}$) を採用した。

3. 切羽前方調査ボーリング湧水調査 (T-DrillPacker[®])

本避難坑では全線にて切羽前方調査ボーリング (ロータリー式) を実施して、切羽前方の地質・湧水状況ならびに重金属を調査しながらトンネル掘削を進めている。本稿対象の破碎帯部では、土被りが最大 250m あり地下水位も高いことから高水圧による切羽の不安定化が懸念されたため、通常の調査ボーリングに加えて、当社開発の湧水調査技術 T-DrillPacker[®]による切羽前方の湧水圧の測定を行った。本技術は、パッカーを用いてボーリング先端部の湧水圧を正確に測定できるものであり、孔壁崩壊リスクが無く・迅速な調査が可能である。ボーリングには高速に削孔・コア採取が可能な PS-WL 工法を用いており、小断面トンネルに適用可能な小型スキッドタイプのボーリングマシン (RPD100SL) を選定した。小断面およびレール方式という施工条件に伴い、切羽でのクレーン等を用いた荷役作業ができないため、天端部に設けた吊りピースならびにチェーンブロック等を用いてボーリングマシンの据付けを行った (図-2)。これらの段取り時間を含め、計 6 方で 72m の削孔と 2 箇所での T-DrillPacker による湧水圧測定 (ともに 0.09MPa を観測) を実施した (別講演原稿にて詳述²⁾)。



図-2 避難坑切羽

4. バルクヘッドモデルによる切羽安定評価

切羽の安定性評価には、図-3 に示すバルクヘッドモデルによる管理手法³⁾を用いた。本手法は、切羽前方のカバーロックを土塊 (幅 $a \times$ 高さ $a \times$ 長さ L) と見なし、その自重による抵抗力 (F) と、切羽に作用する水圧 (力: P_w) とのつり合いを考え、図-3 中の式より限界動水勾配 i_c (水圧と土塊長の比: h_w/L) を計算する。ボーリング結果か

キーワード 断層破碎帯, 多量被圧湧水, 切羽前方調査ボーリング, 湧水圧, 切羽安定, 補助工法

連絡先 〒060-0061 札幌市中央区南 1 条西 1 丁目 4 大成札幌ビル 大成建設札幌支店土木部 TEL:011-241-1209

ら土砂化した地山を想定し、粘着力 0kN/m^3 、内部摩擦角 30° を与えると i_c は約 1.0 となる。鏡ボルトによる切羽前方の補強区間 (10m) を土塊長 L と設定し、水圧 P_w が 10m (0.1MPa) 以下であることを管理基準とした。上記調査ボーリングで観測された湧水圧はこの基準を下回っていることから切羽安定性への影響が小さいと判断し、トンネル掘削を進めることができた。

5. 切羽安定対策工

破砕帯区間ではトンネル掘削に大きな問題は生じなかったが、その前後の区間にて、切羽観察で安山岩変質部が確認され、変位計測で管理基準値を超過する変位が確認されたため、支保パターンを D から E パターン (鋼製支保工 HH-108, 吹付厚 $t=150\text{mm}$ - 36N/mm^2 , ロックボルト $L=3000$, インバート吹付 $t=150\text{mm}$ - 36N/mm^2) へと変更した。また、天端の安定対策工として注入式長尺鋼管先受け工 (AGF) 工法 ($L=12.65\text{m}$, @450, $N=14$ 本) を追加した。さらに、鏡面の安定対策として鏡吹付コンクリート ($t=100\text{mm}$ - 36N/mm^2)、注入式長尺鋼管鏡ボルト ($L=12.65\text{m}$, $N=11$ 本) を実施した (図-4)。また、トンネル掘削時に概ね $100\sim 150\text{L/min}$ の湧水が発生したため、湧水による切羽崩壊リスクの低減対策として切羽左右の肩部に水抜きボーリング ($L=30.75\text{m}$) を実施し、約 100L/min の湧水を捉えた。変質や破砕帯の影響により孔壁が崩れボーリング孔の閉塞が見られたため、鏡ボルト用の鋼管にスリット ($\phi 89.1\text{mm}$) を設け、ケーシングならびにストレーナとして用いた。濁水処理設備の負担を軽減するため、鋼管からの湧水はホースで清水管に配管することで清濁分離を行った (図-5)。なお、濁水処理設備は過去にトンネル全体で 500t/h 程度の湧水が発生した際に、処理能力を 480t/h まで増強している。これらの対策工の結果、切羽を安定させて掘削を進めることができた。

6. まとめ

破砕帯の施工において多量湧水や高水圧による切羽の不安定化が懸念されたが、T-DrillPacker による切羽前方の湧水圧測定ならびにバルクヘッドモデルを用いた切羽安定評価により、切羽前方の湧水リスクを確認し、補助工法採用の可否を判断した。破砕帯の影響を受けた変位の大きい変質安山岩部では、支保パターンのランクアップや各種補助工法による切羽安定対策工、水抜きボーリング、濁水処理設備の増強等を先行して実施することで切羽の安定を確保しながら掘削を進め、破砕帯を突破することができた。

参考文献

- 1) 平塚 裕介, 熊本 創, 増岡 健太郎, 山本 肇: 先進ボーリングを用いた切羽前方の湧水調査技術「T-DrillPacker®」の開発, 大成建設技術センター報 第54号, 2021.
- 2) 平塚 裕介, 熊本 創, 山本 肇, 近藤 優: 先進ボーリング湧水調査技術「T-DrillPacker®」の小断面トンネルへの適用, 土木学会第78回年次学術講演会, 2023 (投稿中) .
- 3) 高原 英彰, 依田 淳一, 川原 一則: 偏在する高圧帯水層の地山における湧水圧管理を用いたトンネル掘削, トンネル工学報告集15巻, pp.101-105, 2005.

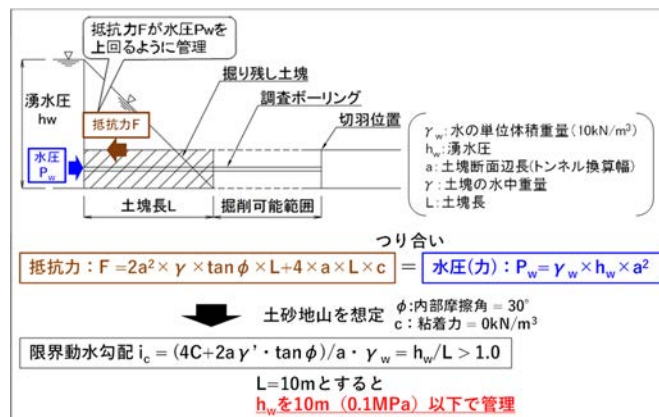


図-3 バルクヘッドモデル

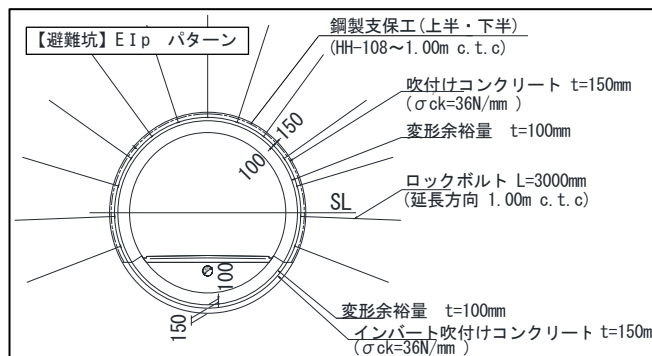


図-4 Eパターン標準断面図



図-5 水抜きボーリングによる湧水対策