

## 破碎帯が分布する坑口部における切羽前方地山状況の3次元把握

(株) 鴻池組 土木技術部

正会員 ○北野 敬太

(株) 鴻池組 大阪本店土木部

田中 寿 藤原 一喜 平野 淳一 世羅 敦史

国土交通省 近畿地方整備局 福知山河川国道事務所

児玉 優一

### 1. はじめに

本トンネルの起点側坑口部では、断層や破碎帯が分布しており、掘削時の地山の緩みによるトンネル不安定化が懸念された。また、地下水位が高く、突発湧水の出現が懸念された。本稿では、切羽前方地山状況（地山挙動、地山性状、帯水状況）の事前把握のために行った調査内容と施工実績について報告する。

表 1 工事概要

工事名称	西舞鶴道路境谷トンネル他工事
発注者	国土交通省 近畿地方整備局
施工者	株式会社 鴻池組
工事場所	京都府舞鶴市境谷地先
工期	令和2年3月6日～令和4年7月31日
工事内容	工事延長L=306m トンネル (NATM) トンネル延長L=138m 内空断面積A=56.7㎡ インバート工、覆工、地下排水工L=138m 坑門工N=2基 道路改良 他

### 2. 工事概要

本工事は、国道 27 号西舞鶴道路約 4.9 km のうち、境谷地区において延長 138m の山岳トンネルを新設するものである。工事概要を表 1 に示す。

### 3. 地形・地質概要

本トンネルは起点から終点へ南向きに掘削する。起点側坑口部では、坑口に向かって左側に沢地形が存在し、沢の両側部の斜面は急峻な地形を呈していた。トンネルと地形の関係は斜面斜交型であり、層理は北北東-南南西方向の走向で西北西に 30～45°傾斜していた。破碎帯はトンネル線形に対して斜交しており、トンネル掘削時に出現が予想された。

地質は、基盤岩として舞鶴層群の頁岩・砂岩が分布し、未風化の岩は比較的硬質であった。しかし、水平ボーリング結果から、低土被り部では地表面から浸透した雨水の影響によって、風化が深部まで進行していることが確認された。また、岩盤の亀裂分布においても、節理が発達している箇所が多く確認された。

水平ボーリング調査実施時、CL 級岩盤と CM 級岩盤の境界付近 (TD=43 m) から 5～10 L/min の湧水が確認された。鉛直ボーリング (TD=20 m 地点) 実施後の最終坑内水位はトンネル肩口まで水位があり、湧水の発生が予想された。

### 4. 懸念事項と施工前の調査

坑口部は偏圧地形を呈しており、トンネル通過部に破碎帯が分布することから、掘削による地山の緩みや偏土圧に伴うトンネルの不安定化が懸念された。低土被り部及び断層破碎帯の前後では風化が進行し、鏡面や天端部の崩壊が懸念された。地山の地下水位は高く、破碎帯で断層角礫が帯水層となっている場合、トンネルが破碎帯に到達した時に突発湧水の発生が懸念された。これらの懸念事項に対し、以下の調査を行った。

- ①施工時の地山挙動の予測、安定性の評価を行うため、3次元モデルによる FEM 解析を行った。
- ②鏡面の補助工法の必要性を検討するため、穿孔探査法を用いた前方地山の性状（硬軟）把握を行った。
- ③掘削時の湧水量を調査するため、SWING 法を用いた湧水量の推定を行った。
- ④脆弱部、帯水箇所的位置を推定するため、坑内電磁波探査 (FDEM) を行った。

### 5. 調査結果

①図-2 に TD=18 m 地点での 3次元モデルによる FEM 解析の結果を示す。地山の安定性評価基準には Mohr-Coulomb モデルを適用し、局所安全率  $f_s > 1.0$  で弾性域と判定される。局所安全率コンタ図では塑性域 ( $f_s < 1.0$ ) は

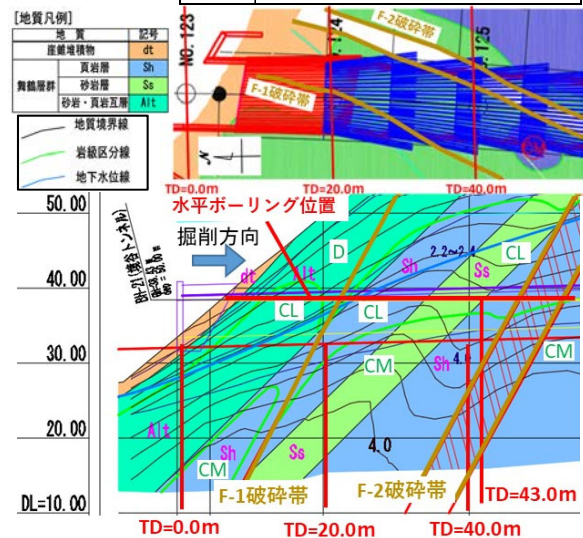


図 1 坑口部 地質状況

キーワード 山岳トンネル, 破碎帯, 突発湧水, 坑口部, 前方地山状況

連絡先 〒541-0057 大阪府大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 本町南ガーデンシティ TEL06-6245-6568

確認されないため、地山は安定していると判断された。延長方向の変位コンタ図では上半部の鏡面に 10 mm 程度の押し出しが確認された。

②図-3 に TD=10 m, 26 m 地点で実施した穿孔探査法 (DRISS) の結果, 図-4 に削孔位置を示す。補助工法の必要性は, NPO 法人臨床トンネル工学研究所「トンネル補助工法委員会 平成 24~25 年度活動報告書」に記載されている削孔エネルギー ( $E=150 \text{ J/cm}^3$  以下) の数値に基づいて判定を行った。TD=10~30 m の上半部, TD=30~40 m の天端部では  $E=150 \text{ J/cm}^3$  以下であるため, 岩の風化が進行していると判断された。TD=30~40 m の SL 付近は  $E=150 \text{ J/cm}^3$  以上であり, CM 級の岩が分布する範囲と一致した。

③SWING 法はトンネル掘削による湧水量と周辺地下水の低下を予測する簡易手法である。湧水量の予測結果は, L=20 m 地点で 50 L/min 超となり, 切羽が進行するほど増加し, 最大 250 L/min と予測された。

④坑内電磁波探査 (FDEM) 結果のうち, 調査区間で最も低い比抵抗値 ( $120 \Omega\text{m}$  以下) である箇所を 3 次元分布図を 図-5 に示す。比抵抗値が低い箇所に脆弱部や帯水管所が分布すると推定され, TD=40 m 付近に集中していることが確認できた。この箇所は砂岩と頁岩の境界付近であり, F-2 破碎帯の出現が予想される位置と一致した。

これらの結果より, 施工上の留意点を以下のように判断した。TD=10~30 m の区間において風化が進行しているため, 地山の緩みによる鏡面, 天端部崩落の危険性があり, 当初から計画されている先受け工に加えて, 補助工法 (鏡ボルト) が必要となることが予測された。TD=18 m 付近では, 押し出しによる鏡面崩壊の可能性があり, TD=27 m 付近の CL 級岩盤と CM 級岩盤の境界では, 鏡面から肌落ちが生じる可能性があった。TD=40 m 付近で F-2 破碎帯が出現し, 突発湧水の発生が予想された。

## 6. 施工実績との比較

TD=18 m 地点で鏡面の押し出しを伴う天端部の崩落 (幅 4 m, 奥行 3 m) が発生した。当該箇所は, 調査結果より鏡面押し出しが想定されていたが, 掘削時の切羽観察の結果から補助工法の必要性は無いと考えていた。以降も崩落した箇所と同様の地山性状が予想されたため, 当初設計で計画されていた小口径長尺鋼管先受け工に加え, 長尺鏡ボルト ( $\phi 76.3$ ,  $L=12.5 \text{ m}$ ,  $N=5$  本) を施工し, 鏡面の押し出しを防止した。

また, TD=27 m 地点では鏡面下部からの崩壊が発生したが, 崩壊範囲は長尺鏡ボルトの下部に留まり, 補助工法の効果を確認することができた。引き続き, 長尺鏡ボルト ( $\phi 76.3$ ,  $L=12.5 \text{ m}$ ,  $N=5$  本) を継施工した。

TD=38 m 以降に F-2 破碎帯がトンネル断面の左側より出現したが, 補助工法の先受け効果により, 地山変状は確認されなかった。湧水について, 穿孔探査時に TD=40 m 付近から 5 L/min の出水が確認されており, 位置は坑内電磁波探査 (FDEM) の結果と一致した。しかし, SWING 法で予測されたほどの湧水量は確認されなかった。

## 7. おわりに

今回, 地下水の滞留が予想され, 破碎帯等が分布する脆弱地山に対し, 切羽前方地山状況の施工前調査により, 施工時に不具合が生じる箇所を的確に把握することができた。施工時の変状について, 調査結果を基に検討した補助工法を施工することで, 以降の掘削を無事に完了することができた。

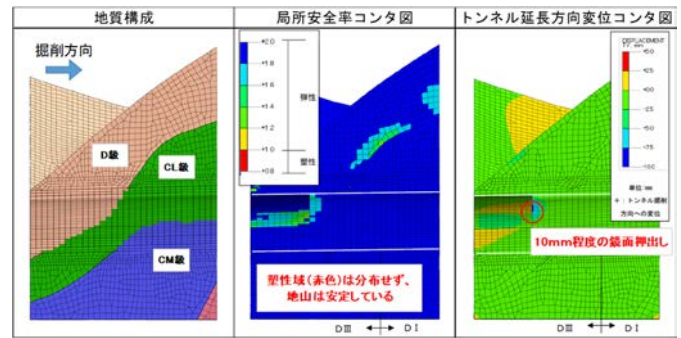


図 2 代表断面 (TD=18m) における FEM 解析結果

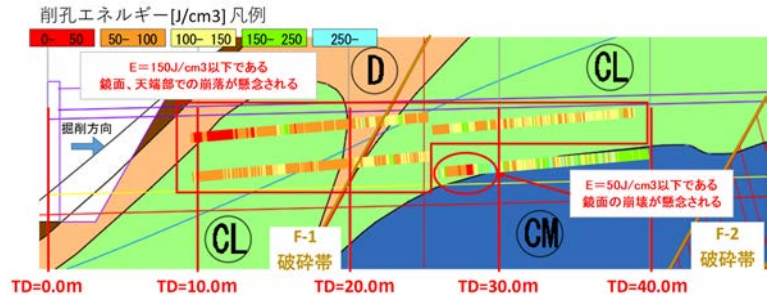


図 3 穿孔探査法を用いた前方探査結果

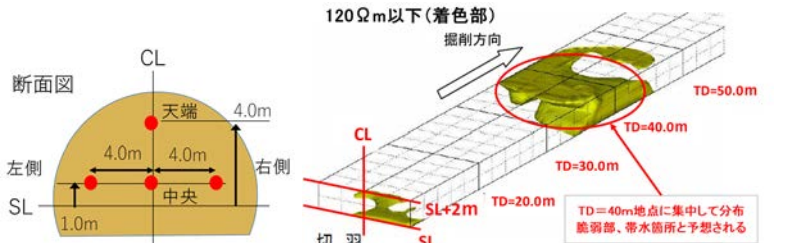


図 4 削孔位置

図 5 比例抵抗値  $120 \Omega\text{m}$  以下の分布図