

水平に成層構造を示す地山におけるトンネルの切羽前方探査手法

清水建設（株） 正会員 ○前原 一稀・濱洲 良介・平野 宏幸・淡路 動太・長谷 陵平・金 民哲

1. はじめに

山岳トンネル工事を安全かつ効率的に進めていくためには、切羽前方の地山性状および帯水層の情報を事前に把握し、状況に応じた適切な施工計画を立案する必要がある。しかし、事前調査として一般に行われている地表踏査、弾性波探査、鉛直ボーリング等の結果だけでは掘削をする上で不十分であることが多く、未確認の地質急変箇所や突発湧水に遭遇する可能性がある。したがって、トンネル掘削時には必要に応じて切羽前方探査を行いながら、切羽観察や坑内変位計測に基づいて現場の実情に合った設計に修正して、安全で経済的なトンネルを構築していく。

滝室坂トンネル西工区では、水平に成層構造を示す地山において帯水層の正確な位置および湧水量を把握することを目的に、坑内反射弾性波探査による概査と、先進ボーリングと穿孔探査による精査を組み合わせた切羽前方探査を実施した。本報告は、滝室坂トンネル西工区における、避難坑切羽前方探査の事例を報告するものである。

2. 工事概要

滝室坂トンネル西工区は、熊本市と大分市を結ぶ中九州横断道路の一部で、阿蘇外輪山の東部を貫く全長約 4.8km、掘削断面積 107m²（仕上がり断面積

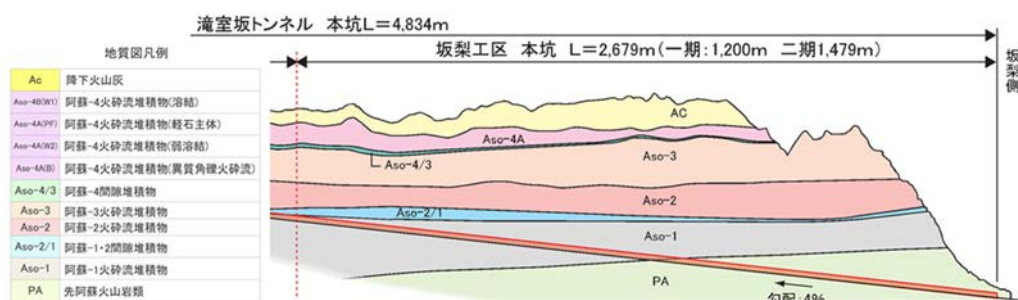


図-1 滝室坂トンネル西工区の地質縦断面図

95m²)の道路トンネルである。当工事は、このうち西側（阿蘇外輪山の内側）の本坑 2,679m、避難坑 3,069m を施工する（図-1）。トンネルには、更新世の先阿蘇火山岩類（PA）の上に阿蘇 1～4 の火砕流堆積物（Aso-1～4）とその間に挟在する間隙堆積物（Aso-2/1：凝灰岩・砂岩、Aso-4/3：降下堆積物）がほぼ水平に分布している。特に、間隙堆積物 Aso-2/1 が帯水層となり、トンネル施工により大量湧水（12m³/分）が懸念され、施工を行う上で切羽前方探査による地質予測が重要であった。

3. 前方探査概要

初めに、帯水層（Aso-2/1）の大まかな位置を確認するために、水平に成層構造を示す地山である特性を考慮して反射波の解析領域をトンネル上方に設定した坑内反射法弾性波探査¹⁾（TSP303²⁾、ブレイカ探査³⁾）を実施した。次に、坑内反射法弾性波探査で確認された帯水層が切羽上方 20m 程度に近づいた時点で、切羽から上方に穿孔探査（最大 L=36m）、前方に先進ボーリング（最大 L=150m）を実施し、帯水層の正確な位置、地山の性状および湧水量を把握した。穿孔探査は、油圧式削岩機の穿孔速度、回転圧等より穿孔エネルギーを算出し、地山の軟硬を把握することが可能である。本施工では、切羽上方を探査するために切羽天端部にて削孔角 30～60 度で穿孔探査を実施した。

4. 探査結果

既存の調査ボーリングとその近傍の穿孔探査結果を図-2 に示す。穿孔探査結果の調査区間約 3.3m 付近までは、100～200J/m³程度のエネルギーが確認され、くり粉の色も切羽に分布する火砕流堆積物（Aso-1）と同様（濃い灰色）のため Aso-1 層だと想定される。約 3.3m～20.3m 付近は 100J/m³未満と非常に小さく脆弱層である。また、くり粉の色も茶色から灰色であり、事前の調査ボーリングの地質(1)Aso-1 層から Aso-2/1 層境（脆弱層）を捉えており、帯水層（Aso-2/1）の可能性が高いと考える。20.3m～29.4m 付近は 500J/m³程度までエネルギーが上昇しており、くり粉の色も黒色のため Aso-2 層と考える。

キーワード トンネル、前方探査、帯水層、湧水

連絡先 〒869-2225 熊本県阿蘇市一の宮町宮地 2005-5 清水建設（株）滝室坂トンネル西 TEL:0967-24-1002

複数回の穿孔探査結果により帯水層を想定した地質縦断図を図-3に示す。トンネル掘削位置は桃色箇所、各番号は穿孔探査箇所、薄水色箇所は設計時の帯水層位置を示している。坑内反射法弾性波探査により反射面R1およびR2（同図 灰色破線箇所）が得られ、帯水層の位置は当初より低い位置であることが想定された。穿孔探査結果より、Aso-2層想定線（赤色）、Aso-2/1層想定線（水色）、Aso-1層想定線（黒色）が得られ、帯水層の厚さが12.0~17.0mであり、一定勾配でないことが確認された（青色斜線箇所）。また、帯水層は穿孔エネルギーが非常に小さいことから、脆弱層であることが確認された。

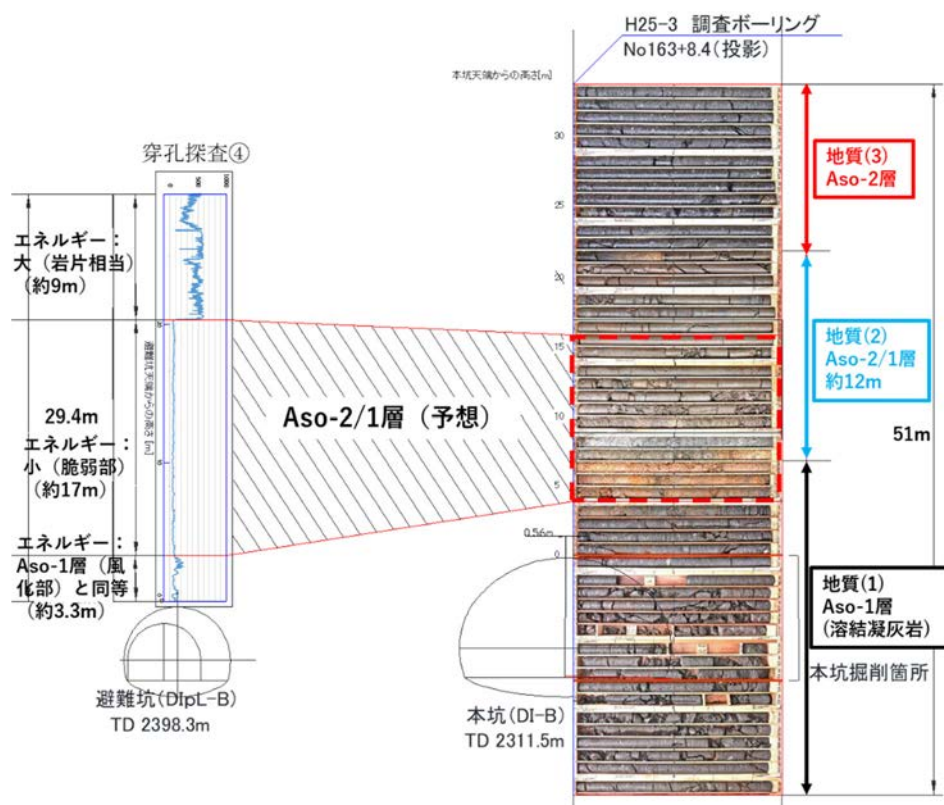


図-2 穿孔探査結果と調査ボーリングとの比較

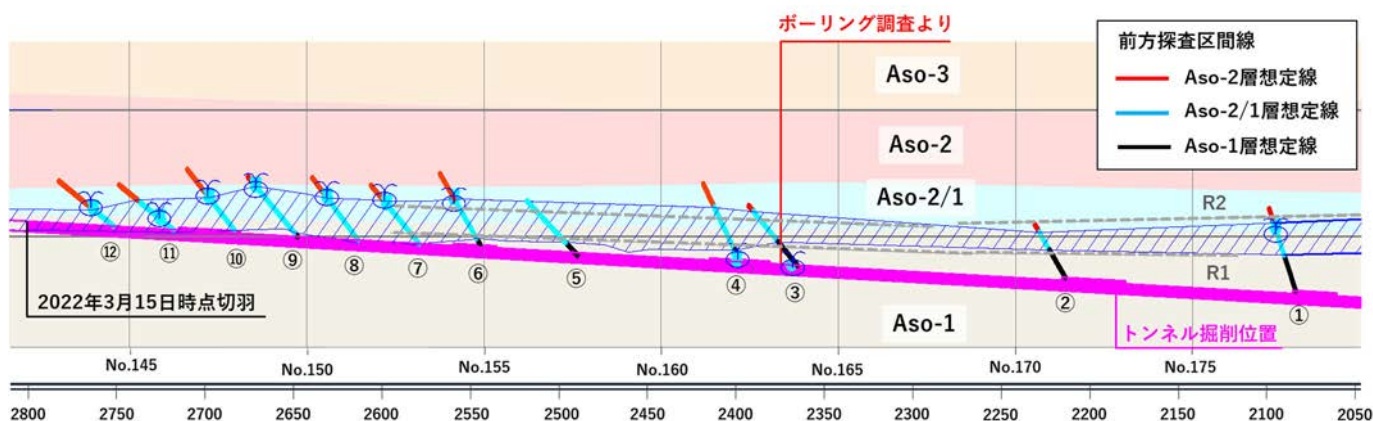


図-3 穿孔探査により帯水層を想定した地質縦断図

5. まとめ

水平に成層構造を示す地山において、坑内反射弾性波探査による概査と、先進ボーリングと穿孔探査による精査を組み合わせた切羽前方探査を実施することで、事前に帯水層の位置および湧水量を把握した。現時点（令和4年3月15日）での帯水層（Aso-2/1）からの湧水は40L/分程度であり、当初想定されていた大量湧水（12m³/分）は確認されなかった。また、事前に帯水層が脆弱層であることを確認し、DIIパターンの早期閉合で遅延なく対応することで、トンネル変位を抑制できた。

参考文献

- 1) 早川泰央, 濱洲良介, 平野宏幸, 吉河秀郎, 淡路動太:坑内反射法弾性波探査を用いたトンネル上方探査による地質評価手法, 土木学会第75回年次学術講演会, 2020.
- 2) Al Adzam Shah Bin Azman, 小島英郷, 安藤拓, 秦健二, 石橋均:双葉断層を含む破碎帯推定区間での切羽前方探査による地山性状把握, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017
- 3) 西琢郎, 若林茂樹:トンネル掘削振動を利用した前方探査手法の研究開発, 応用地質, Vol.56, No.6, pp.343-349, 2016.