

非火薬破碎剤を用いた坑内弾性波探査による切羽前方の予測

安藤ハザマ 正会員 ○五味 春香、辰巳 順一

1. はじめに

山岳トンネルの施工では、地山状況に適合して合理的に施工を進めるために、切羽前方探査を実施する。切羽前方探査のひとつである坑内弾性波探査（以下、TSP303）は、トンネル坑内から探査可能であり、切羽前方の地質境界、走向・傾斜および地下水状況を推定することができ、国内で多く用いられている探査手法である。本稿では、非火薬破碎剤を用いた TSP303 による切羽前方の予測結果について報告する。

2. 概要

今回、探査を実施した A トンネルの地質縦断面図を図-1 に示す。A トンネルは、北陸地方に位置する延長 1,128m の機械掘削方式の山岳トンネルであり、地質は新第三紀鮮新世の凝灰角礫岩と安山岩溶岩で構成される。当該トンネルの TD.290m 付近で、事前の地質調査とは異なる位置に安山岩溶岩の地質境界が出現した。その際、破碎された強風化安山岩が原因とみられる小規模な切羽の崩落が発生した。

今後の掘削においても想定外の破碎帯が出現する可能性があり、安全施工に支障をきたす恐れがあったため、切羽前方探査の実施を計画した。探査手法には、ボーリング孔からの湧水量やコア試料などから地質性状を直接的に把握できる水平コアボーリングを選定した。しかし、水平コアボーリングでは、切羽の地質性状を局部的には把握できるものの、切羽の全体的な地質性状は把握できない。そのため、水平コアボーリングと併せて TSP303 を実施し、走向・傾斜や地山の地下水状況をより詳細に把握することとした。

3. TSP303 による探査

3.1 TSP303 の概要

今回の探査は、トンネル右側壁の S.L 付近に TD.284m から坑口側へ 1m 間隔で 24 孔の起振源を設置し、TD.245m 付近に受振点を左右側壁に各 2 孔設置した。

P 波速度および S 波速度は、地盤が硬質の場合は早くなり、軟質の場合は遅くなる。S 波は、P 波と異なり水中を伝播しない。そのため、P 波速度が速く、S 波速度が遅い場合は、地下水が分布していると予測できる。

3.2 課題と対応策

一般的に、TSP303 の起振源には火薬類取締法で制限される探査用の爆薬を用いる。今回、TD.290m 以奥の詳細な地質性状を早急に把握することが求められたが、探査を行う A トンネルは火薬類を使用しておらず、火薬類消費許可の申請には長期間を有する状況であった。

TSP303 を早急に実施するための対応策として、起振源に火薬類取締法の規制を受けない非火薬破碎剤を用いて探査する手法を選定した。なお、非火薬破碎剤で探査した場合、火薬を用いた探査と比べると最大振幅が小さいため、探査範囲が小さくなるものの、探査精度は同等である。

3.3 TSP303 のセットアップ方法

爆薬を用いて探査を実施する場合、TSP303 の記録装置を受振装置と雷管に接続し、雷管が点火した瞬間を記録開始点として測定を行う瞬発雷管法が用いられる。一方で、非火薬破碎剤に用いる専用着火具を使用する場合は、初動到達時間にばらつきがある。瞬発

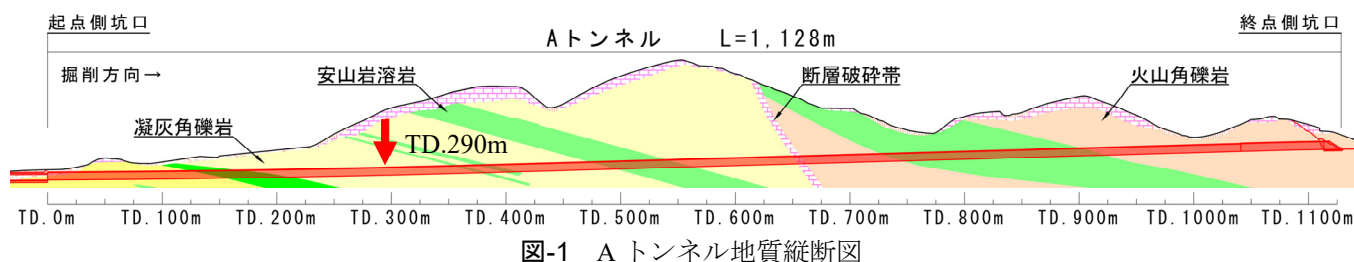


図-1 A トンネル地質縦断面図

キーワード 弾性波探査、TSP303、機械掘削方式、非火薬破碎剤

連絡先 〒107-0052 東京都港区赤坂 6-1-20 安藤ハザマ建設本部土木技術統括部 TEL 03-6234-3673

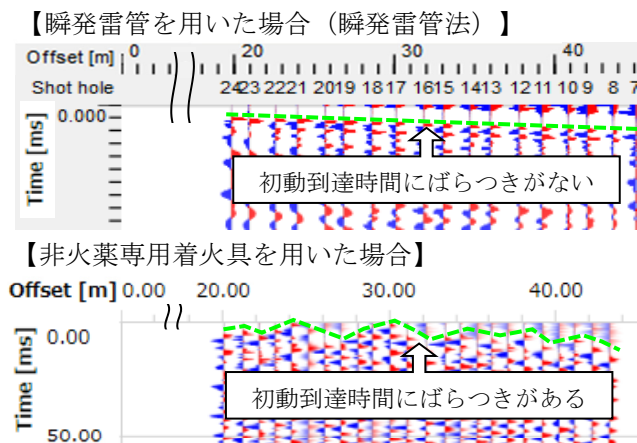


図-2 初動到達時間の一例

雷管を用いた場合と非火薬専用着火具を用いた場合の初動到達時間の一例を図-2 に示す。今回の探査においては、初動到達時間が瞬発雷管法と同等であるワイヤブレイク法を選定した。ワイヤブレイク法とは、記録装置と非火薬破砕剤をワイヤーで接続し、ワイヤーが破断される瞬間を記録開始点として測定する手法であり、初動にばらつきがなく探査が可能である。

4. 探査結果

4.1 結果

切羽前方探査は、TD.290m の位置で実施した。以下に探査結果を示す。

P 波の速度分布を図-3 に示す。切羽から 45~65m までの 20m 区間では速度の変化が大きいため、複雑な岩盤状況が続くことが予想される。2.3 km/s 程度の低速度帯が分布している箇所では、破砕帯が出現することが予想された。

S 波の速度分布を図-4 に示す。切羽から 20m の区間は 1.2km/s 程度であり、速度が著しく低下している。その間の P 波速度は増加し、S 波速度だけが低下していることから、この区間では湧水の発生が予測される。

併せて実施した水平コアボーリングの結果より、P 波速度が低下している区間においては、破砕帯を確認した。また、S 波速度が低下している区間においては、削孔中に 242L/min 程度の湧水発生を確認した。

以上の結果より、切羽から 20m 間では湧水が発生し、切羽から 45~65m の区間では硬軟の変化に富んだ複雑な岩盤状況が続くと予想された。

4.2 施工への反映

P 波速度が 2.3m/s の区間の切羽状況は、割れ目が多

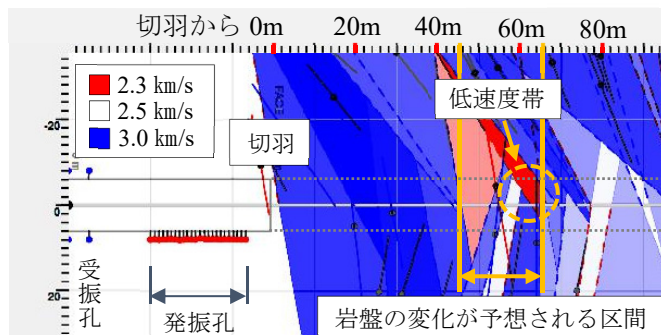


図-3 P波の速度分布

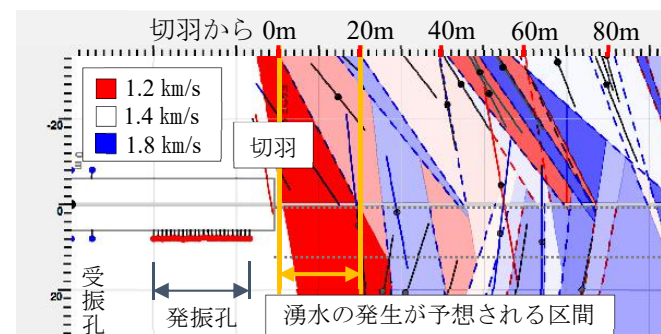


図-4 S波の速度分布

く一部粘質化した強風化凝灰角礫岩と土砂化した強風化安山岩溶岩が出現した。そのため現場においては、鏡面安定対策である長尺鏡ボルト（φ 76.3mm、L=12.8m）と鏡吹付けコンクリート（t=100mm）の施工と、天端安定対策である注入式長尺鋼管フォアパイリング（φ 114.3mm、L=12.5m）の施工を実施した。

S 波速度が 1.2m/s の区間の切羽状況は、強風化の凝灰角礫岩と安山岩溶岩が出現し、天端から湧水が見られたが、先行して実施した水平コアボーリングが水抜き役割を果たし、湧水量の発生を抑えることができた。

5. まとめ

今回の探査により、切羽から約 60m 前方までの破砕帯の出現と湧水の発生区間を精度良く予測できたため、対策工を早期に計画・実施し、安全に施工を進めることができた。また、非火薬を用いることで、火薬を使用することが難しい状況下においても、TSP303 による切羽前方探査が可能であると確認できた。本報告が、類似した課題に対して寄与することになれば幸いである。

参考文献

- 1) アドザムアズマン、邊見涼、小島英郷、淡路動太：非火薬破砕剤を用いた坑内反射法弾性波探査に関する一考察、土木学会、トンネル工学報告集、第 28 巻、I-34、2018.11