

山岳トンネルにおける切羽前方湧水予測技術

大林組東京本社 正会員 ○桑原 徹, 奥澤康一
 大林組大阪本店 正会員 浅野文典, 小山武志
 大林組東京本社 正会員 木梨秀雄, 伊藤 哲

1. はじめに

現在では、山岳トンネルにおける事前地質調査の課題を克服するとともに、切羽の安定性確保・工程短縮・安全確保・コスト削減を目的として、施工管理技術として各種の切羽前方探査が実施される場合が非常に多い。前方探査の対象としては脆弱層と大量・突発湧水がある。脆弱層を対象とした前方探査技術は、削孔速度変換解析システムに基づいたノンコア削孔切羽前方探査(トンネルナビ)により断層の検出や地山等級区分の予測に大きな効果を確認している¹⁾²⁾。一方、大量・突発湧水の予測方法としては地山の電氣的比抵抗値による予測(電気探査, 電磁探査)もあるが、多くの場合は水抜き用の先進ボーリングが用いられている。ところで、トンネル坑内での弾性波探査は従来主に脆弱層の予測に利用されてきたが、各種前方探査の総合評価から、坑内弾性波探査を利用した切羽前方湧水予測が可能になると判断した³⁾。この手法は、ノンコア削孔完了時(削孔深度 50m)で 25 L/m/min 以上、切羽周辺での概ね 1 トン/分以上の大量湧水を対象にして、水抜きボーリングのように坑内湧水を発生させずに事前に切羽前方の湧水リスクを予測でき、掘削工事の長期中断を最小限にとどめるべく湧水対策工に資するものと考えている。この切羽前方湧水予測技術の最適化を目指して検討した結果を報告する。

2. システム概要

本システム(図-1)は地山中の地下水に対するP波速度とS波速度の特性の違いを利用したものである。地下水で飽和した地層の弾性波速度(P波速度)は間隙率に反比例するので、水の弾性波速度(1.5km/sec)よりも大きな速度を持つ地山では、地下水を多く含むほどP波速度は低下するはずである。一方、S波速度は水の影響をあまり受けないとされているので、 V_p/V_s 比の大きさやその変動が、地山中の地下水賦存量の大きさや広がりに関係している可能性がある。

- (1) 測定システムでは、3成分小型地震計を利用し、特に切羽前方からの反射波を考慮して、指向性を配慮した地震計設置を採用している。
- (2) 解析システムでは、観測記録(SEG フォーマット)の変換、観測波形記録の表示、初動読取、フィルター処理、ディフракションスタック、反射波の抽出、反射強度・反射係数の算定、弾性波速度の算定、 V_p/V_s 比の計算と図化とデータ処理が進むが、PCディスプレイ上ですべての作業を短時間で完結させるために、いくつかのデータ処理専用インターフェイスを備えている。
- (3) 湧水評価システムでは、トンネル切羽前方のトンネルルート上で V_p/V_s 比の周期的変動から大量・突発湧水のリスク評価を行う。ドリルジャンボを利用したノンコア削孔切羽前方探査¹⁾²⁾、水圧ハンマーを利用した高速ノンコア削孔システム⁴⁾の速報にもこの解析結果を組み込んで、総合的な切羽前方湧水予測が可能となる。



図-1 切羽前方湧水予測の測定・解析・評価ならびに前方探査の総合化

キーワード 山岳トンネル, 切羽前方湧水予測, 坑内弾性波探査

連絡先

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組東京本社 技術研究所 地盤技術研究部 TEL 042-495-1015
 〒919-0215 福井県南条郡南越前町奥野々87 大林・東亜・本間・塩浜特定建設工事共同企業体 新北陸トンネルJV工事事務所
 TEL 0778-47-8140

(4) 本システムの特徴として、反射面の抽出方法がある。本システムでは、反射強度の大きな部分を優先的に反射面として捉えるのではなく、反射強度の大小分布(反射面の疎密)から領域をゾーン区分し、ゾーン境界を反射面として捉えている。これにより反射面の極性(反射強度や反射係数の正負)、速度の増減を容易に相互の矛盾なく決めることができる。従来の抽出方法では小規模な亀裂集中帯を単独で抽出する傾向があり、大きな地質の変化を把握しにくい場合がしばしばあったと考えている。今回の方法では、反射面の疎密分布から地山の均質部と不均質部を判定しゾーン区分を行うことにより反射面を抽出するので、帯水層の分布など地質の大きな変化を捉えられると考えている。

3. 予測結果と検証結果

前方探査実験は長さ298mの斜坑(主に12.5%の下り勾配区間、一部区間で緩いカーブ)内で実施し、ドリルジャンボと水圧ハンマーを利用した2種類のノンコア削孔調査結果により検証を行った。地質は中生代ジュラ紀の砂岩・粘板岩互層からなる。

図-2(a)は坑内弾性波探査の結果(Vp/Vs比ほか)、図-2(b)はドリルジャンボによるノンコア削孔調査結果(地山の脆弱性)、図-2(c)は水圧ハンマーによる高速ノンコア削孔調査時の湧水量を、それぞれ示す。

本システムではVp/Vs比の極小点付近で大量湧水が発生するとみなしている³⁾。今回、湧水量は最大8 L/m/min程度でかつ短区間で終了しているため、適用対象として湧水量は少なく、Vp/Vs変動の周期性も明確ではない。

しかしながら、その中でもVp/Vs比の減少区間が2か所認められた。図-2(a)中の予測区間A)は、TD=70~75mにおいて短時間に生じた8 L/m/min程度の突発的な湧水に対応している。一方、予測区間B)は探査の限界距離を越えるあたりにある。TD=160m付近の10m区間で時間とともにゆっくりと増加した3~6 L/m/minの湧水に対応していると判断できるが、予測とは10m程度のずれが考えられる。

4. おわりに

今回の実験は、本システムの適用対象としては少ない湧水量という条件下での検証であったが、概ね想定している評価シナリオに対応するような結果であったと判断している。今後も検証データを蓄積し予測精度の向上に努めたい。

謝辞 鉄道・運輸機構鉄道建設本部 大阪支社敦賀鉄道建設所殿には発表の機会を頂き、厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 桑原 徹, 畑 浩二, 玉井昭雄, 田湯正孝: ノンコア削孔トンネル切羽前方探査による地山強度比の推定, トンネル工学報告集第19巻, pp.145-156, 2009.11, 2) 桑原 徹, 畑 浩二, 赤澤正彦: ノンコア削孔調査による山岳トンネル切羽前方探査精度の検討, トンネル工学報告集第23巻, pp.1-9, 2013.11, 3) 村上 明, 島 哲也, 桑原 徹, 田湯正孝: ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査, トンネルと地下, Vol.43, no.6, pp.495-504, 2012, 4) 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, トンネル工学報告集, 第24巻, I-23, 2014.12

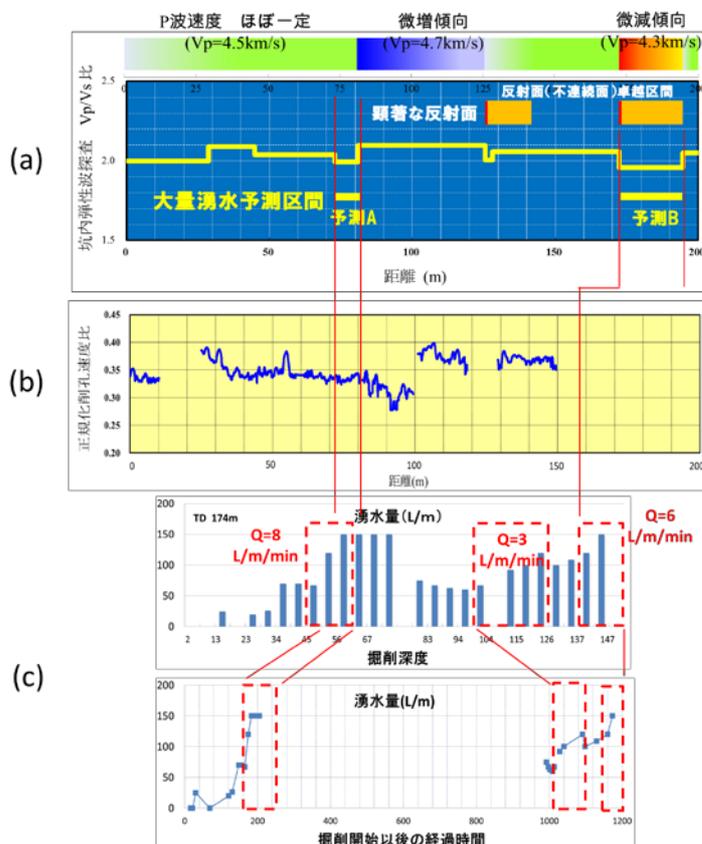


図-2 切羽前方湧水予測の実施と検証