

山岳トンネルにおける切羽前方湧水予測技術（その2）

大林組 技術研究所 正会員 ○桑原 徹, 奥澤康一
 大林組 大平山トンネル西工事事務所 正会員 久下 敦, 永松雄一
 国土交通省延岡河川国道事務所 非会員 佐土原一也

1. はじめに

大平山トンネルは、国道218号高千穂日之影道の一部を構成する、NATMによる延長 $L=2,306\text{m}$ 、幅員 $w=12.0\text{m}$ の山岳トンネルである。地質的には、仏像構造線を境にして、その北側には石灰岩・粘板岩（秩父累層）、南側には砂岩頁岩互層（四万十帯）からなり、該当工区（ $L=1,177\text{m}$ ）では石灰岩・チャート・粘板岩・砂岩が分布する。設計時の電気・電磁探査では低比抵抗ゾーン、屈折法弾性波探査（トモグラフィ的解析）では局所的な低速度層の存在、地下水の石灰岩溶解作用による小規模空洞や賦存水の可能性など、一部の区間で突発的な大量湧水の危惧が予想された。

そこで、新規に開発した「坑内弾性波探査による切羽前方湧水予測技術」（ユースイナビ）^{1),2)}を利用して、切羽前方における大量・突発湧水の予測と検証を行った。

2. システム概要と特徴

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/s ）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。

本手法では、①地震計の設置方法の改良による反射波の入射記録の S/N 比の向上、②反射強度の疎密分布による新たな反射面の抽出方法（反射面ゾーン抽出方法）、③P波速度/S波速度の比（ V_p/V_s 比）による大量湧水評価手法が、特徴的である。

反射面ゾーン抽出方法では、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、図-2 CASE 1のような事例³⁾を除くと、CASE 2のような一般的な地山条件では、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。

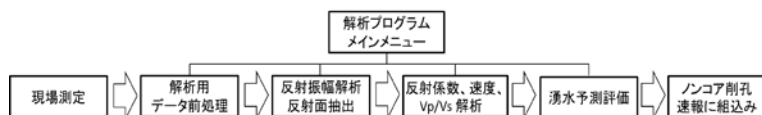


図-1 切羽前方湧水予測の測定・解析・評価

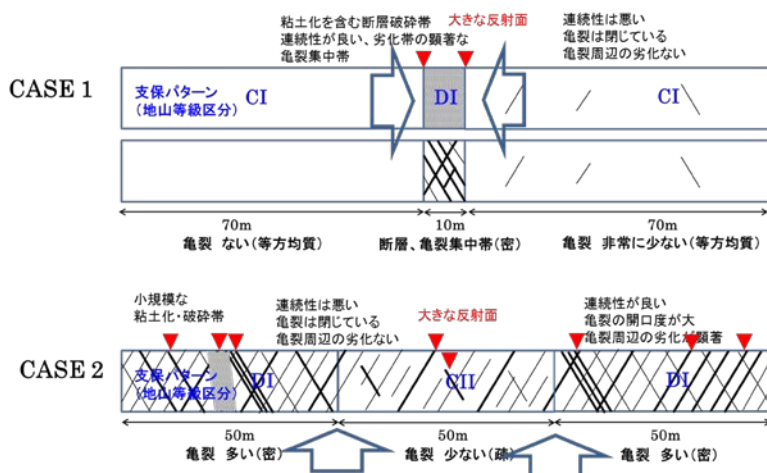


図-2 反射面ゾーン抽出法

キーワード 山岳トンネル, 前方探査, 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

〒882-1101 宮崎県西臼杵郡高千穂町三田井 6214-5

〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町 1 丁目 2889

(株)大林組 東京本社 技術研究所 地盤技術研究部

(株)大林組 九州支店 大平山トンネル西工事事務所

国土交通省 九州地方整備局 延岡河川国道事務所

TEL 042-495-1015

TEL 0982-72-9021

TEL 0982-31-1155

3. 予測結果と検証結果

図-3 に既往調査による地質(岩質), 比抵抗値, 弾性波速度の概略分布を示す。

3.1 湧水予測解析評価

① 顕著な反射面と V_p/V_s 比の急激な低下が TD 383m 付近で認められる。この付近では反射面の出現(反射強度の違い)は P 波記録で著しく S 波記録で乏しい(図-4)。その結果, S 波速度よりも P 波速度の変化が著しくなり, この地点で V_p/V_s 比の急激な低下を生じている。

② V_p/V_s 比から湧水リスクの大きな区間としては TD383m-394m の区間が指摘できる。当初設計によると DI 区間(低速度帯)が TD372m-397m 付近に, 石灰岩/粘板岩の地層境界が TD 405m 付近に想定されている。湧水リスク区間はこの低速度帯の中に含まれる。

3.2 湧水予測の検証結果

① 坑内弾性波探査の結果(V_p/V_s 比, P 波弾性波速度など)に対して, ノンコア削孔切羽前方探査結果(正規化削孔速度比, 区間湧水量, スライム観察)および切羽観察結果(岩種, 亀裂, 変質状況, 地山等級区分など)により検証作業を実施した(図-5)。

② その結果, 湧水予測区間(TD383m~TD394m)と実際の湧水区間(TD373m~TD387m, 300L/min, 18L/min/m), 地下水による水酸化鉄の赤褐色変質帯(TD388m~TD403m, 緑色岩)は, 概ね良く対応していると言える。

4. おわりに

弾性波速度(P 波速度)は全区間で 5km/s をこえ, 設計断面図の弾性波探査結果(3.9~5.2km/s)に近い結果が得られている。今回の突発湧水は1日後にはかなり減衰している, いわゆる岩盤中の裂隙水と呼ばれるものである。このような良好な地山中に賦存する局所的な裂隙水という明確な地山条件も重なり, 本手法による精度の高い切羽前方湧水予測が可能になったと考えられる。

また, 屈折法弾性波探査により判断された低速度帯が坑内弾性波探査によって予測された湧水リスク区間と概ね一致していたことも興味深い。今回は速度低下が脆弱層ではなく地下水によるものであることが具体的に証明された稀な事例である。今後, 設計図書を別の観点から着目することにより, 屈折法探査の低速度帯から湧水の可能性が予測できる場合もあると期待される。

参考文献

- 1) 村上ほか：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,
- 2) 桑原ほか：山岳トンネルにおける切羽前方湧水予測技術, 土木学会第 70 回年次学術講演会, III-121, pp.241-242, 2015,
- 3) 桑原ほか：ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VI-021, pp.41-42, 2010.

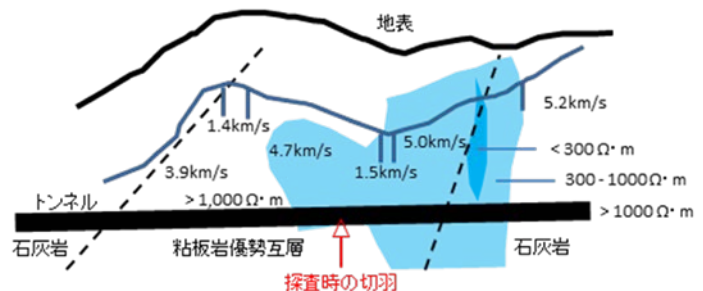


図-3 概略地質断面図

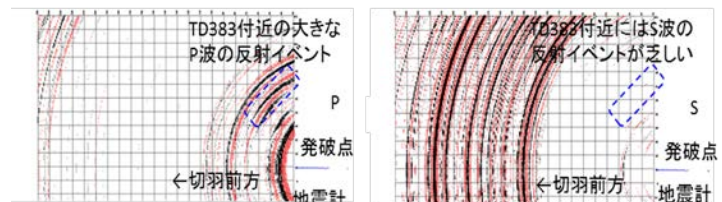


図-4 反射波の解析結果

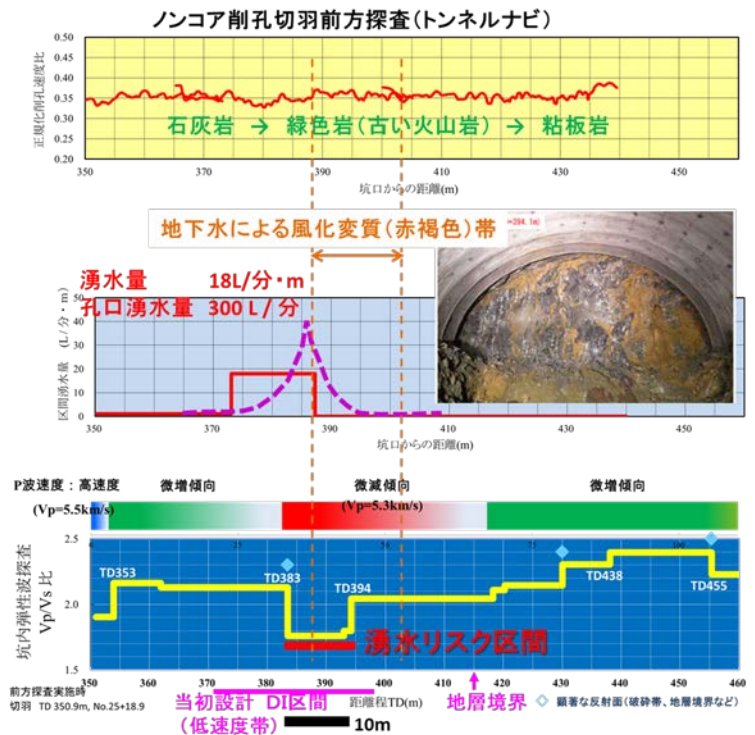


図-5 切羽前方湧水予測と検証